

საქართველოს განათლებისა და მეცნიერების სამინისტრო
აკაკი წერეთლის სახელმწიფო უნივერსიტეტი

ხელნაწერის უფლებით

ალექსანრე ცეცხლაძე

ნავთობის და ნავთობპროდუქტების მილსადენური
ტრანსპორტის გამტარუნარიანობის გაზრდა

ტრანსპორტის დარგში ინჟინერიის დოქტორის (0407) აკადემიური ხარისხის
მოსაპოვებლად წარმოდგენილი

დისერტაცია

სამეცნიერო ხელმძღვანელი:

პროფესორი თეიმურაზ კოჩაძე

ქუთაისი 2015

სარჩევი

წინასიტყვაობა -----	5
შესავალი -----	8
თავი 1. თემის აქტუალობა და ჩატარებული კვლევების ანალიზი -----	12
1.1. მაღალი სიბლანტის ნავთობისა და ნავთობპროდუქტების რეოლოგიური თვისებები -----	12
1.2. მაღალი სიბლანტის ნავთობის და ნავთობპროდუქტების გადატვირთვის ხერხები -----	15
1.3. პირველი თავის დასკვნები -----	30
თავი 2. სითბოს ბუნებრივი წყაროების გამოყენებით მილსადენში მოძრავი ნავთობის შეთბობის შესაძლებლობების დასაბუთება -----	31
2.1. კომპრესიული თბური ტუმბოს მუშაობის პრინციპი და ნავთობსადენებში მისი გამოყენების შესაძლებლობების დასაბუთება -----	34
2.2. ნავთობის ტრანსპორტირება „განაწილებული“ შეთბობით -----	39
2.3. ბუნებრივ სითბურ ენერგიაზე მომუშავე თბოგადამტუბი პუნქტების თბური სიმძლავრის განსაზღვრა -----	43
2.4. მილსადენში ნავთობის ნაკადის თბოცვლის პროცესის მათემატიკური მოდელი -----	46
2.5. გეოთერმული სითბური ენერგიის გამოყენება მილსადენში ნავთობის შესათბობად -----	56
2.5.1. დასავლეთ საქართველოს გეოთერმული წყაროების მახასიათებლები -----	58
2.5.2. მილსადენში მოძრავი ნავთობის შეთბობი რეკუპერაციული თბომცვლელის გაანგარიშების მეთოდოლოგია -----	60
2.6. მზის სითბური ენერგიის გამოყენება მილსადენში ნავთობის შესათბობად ----	66
2.6.1. მზის ენერგიის გამოყენების პერსპექტივები საქართველოს ტერიტორიაზე ----	69
2.6.2. მზის ენერგიის გამოყენების ხერხები -----	70
2.6.3. მილსადენში ნავთობის რეოლოგიური პარამეტრების გაუმჯობესების	

მიზნით მზის ენერჯის გამოყენების მეთოდები-----	75
2.7. მეორე თავის დასკვნები -----	79
თავი 3. ნავთობის ტრანსპორტირების პროცესის ექსპერიმენტალური	
გამოკვლევა -----	80
3.1. ნავთობის რეოლოგიური თვისებების გამოკვლევა -----	80
3.1.1. ნავთობის რეოლოგიური თვისებების ექსპერიმენტალური გამოკვლევის	
მეთოდთა -----	80
3.1.2. ბლანტი ნავთობის რეოლოგიური თვისებების კვლევის შედეგები -----	85
3.2. სითბოსგაცემის კოეფიციენტის და ჰიდრავლიკური წინააღმდეგობის	
კოეფიციენტის გამოკვლევა არაიზოთერმული დინების დროს-----	89
3.2.1. არაიზოთერმული დინების შემთხვევაში სითბოსგაცემის კოეფიციენტის	
და ჰიდრავლიკური წინააღმდეგობის კოეფიციენტის გამოკვლევის	
მეთოდთა -----	89
3.2.2. ჰიდრავლიკური წინააღმდეგობის კოეფიციენტის გამოკვლევის	
შედეგები -----	94
3.2.3. ჰიდრავლიკური წინააღმდეგობის კოეფიციენტის გამოკვლევის შედეგები	
არაიზოთერმულ რეჟიმზე -----	99
3.2.4. სითბოსგაცემის კოეფიციენტის გამოკვლევის შედეგები -----	100
3.3. ლაბორატორიულ პირობებში ნავთობის რეოლოგიური	
მახასიათებლების გამოსაკვლევი ექსპერიმენტალური დანადგარი -----	105
3.4. მესამე თავის დასკვნები -----	109
თავი 4. ნავთობის და ნავთობპროდუქტების შეთბობის მეთოდების	
ოპტიმიზაცია სატრანსპორტო ცისტერნებიდან მათი ჩამოსხმის	
ოპერაციების დროს -----	112
4.1. სატრანსპორტო მოცულობებში ბლანტი ნავთობის და	
ნავთობპროდუქტების შეთბობის სისტემა -----	114
4.2. ბლანტი ნავთობპროდუქტების შეთბობის ხერხები საცავებიდან მათი	
ჩამოსხმის დროს -----	121

4.3. სატრანსპორტო მოცულობიდან ჩამოსხმის პროცესში ბლანტი ნავთობის შემთხობი მოწყობილობა -----	127
4.4. მეოთხე თავის დასკვნები -----	135
ძირითადი დასკვნები და რეკომენდაციები -----	137
გამოყენებული ლიტერატურა -----	139
დოქტორანტის თანაავტორობით გამოქვეყნებული შრომები -----	152

წინასიტყვაობა

წინა ათწლეულში ქართველ მეცნიერთა და პრაქტიკოს სპეციალისტთა მიერ დამუშავდა ეროვნული სახელმწიფო პროგრამის კონცეფციის პროექტი - „საქართველოს ნავთობისა და გაზის საძიებო და მომპოვებელი დარგის განვითარება სისტემური მოდელირების, მონიტორინგისა და სხვა თანამედროვე ტექნოლოგიების საფუძველზე“.

ქვეყანას, რომელსაც აქვს საკუთარი ნავთობისა და გაზის საკმარისი რესურსები, უნარი შესწევს უზრუნველყოს თავისი ენერგოუსაფრთხოება, ხელი შეუწყოს ეკონომიკის განვითარებას და ქვეყნის დამოუკიდებლობის განმტკიცებას. ამის მაგალითია მსოფლიოს მრავალი ნავთობგაზმომპოვებელი ქვეყანა. საქართველოს შეუძლია და უნდა შევიდეს ამ ქვეყნების რიცხვში.

საქართველო თავისი გეოლოგიური აგებულებით ერთდროულად მიეკუთვნება ორ ნავთობგაზშემცველ ტერიტორიას: აღმოსავლეთ შავი ზღვის ოლქს (დასავლეთ საქართველო) და სამხრეთ-კასპიის ნავთობგაზიან აუზს (აღმოსავლეთ საქართველო). საქართველოში აღმოჩენილია 18 საბადო: 16 ნავთობის, 1 გაზოკონდენსატის, 1 გაზის, ნავთობისა და გაზის 1500-ზე მეტი გამოვლინებაა ცნობილი.

1981-83 წლებში საქართველოში ნავთობის მოპოვებამ წელიწადში 3 300 000 ტონას მიაღწია. ქვეყანა თავისი ნავთობისა და გაზის რესურსებით ერთ სულ მოსახლეზე გაანგარიშებით აჭარბებს ბევრ ნავთობგაზმომპოვებელ ქვეყანას, რომელთა ეკონომიკაში ნავთობსა და გაზს მნიშვნელოვანი ადგილი უკავია. საქართველოში 90-ანი წლების ბოლოს დათვლილი იქნა ნავთობის პროგნოზული რესურსები, რომელმაც შეადგინა 2 მილიარდ 350 მილიონ ტონა (ხმელეთზე – 1 200 მლნ.ტ, შელფზე – 1 150 მლნ.ტ), ხოლო გაზის პროგნოზულმა რესურსებმა (აღმოსავლეთ საქართველო) – 180 მლრდ კუბ.მ. შეადგინა.

ამ პოტენციური რესურსის 40-50% მოპოვების შემთხვევაში ქვეყანა მიიღებს რამოდენიმე ასეულ მილიარდი დოლარის მოგებას.

ქვეყანამ ეს ნავთობი შესაძლოა მიიღოს 40-60 წლის განმავლობაში, ახალი საბადოების აღმოჩენას და ექსპლუატაციაში გაშვებას დაახლოებით 5-7 წელიწადი სჭირდება. ნავთობის მოპოვების გაზრდა უფრო სწრაფად შესაძლებელია ადრე

აღმოჩენილი საბადოების რეაბილიტაციისათვის უახლესი ტექნოლოგიების გამოყენებით. ამ საბადოებში დარჩენილია ათეულობით მილიონი ტონა ნავთობი, რაც რამდენიმე ათეულ მილიარდ დოლარს შეადგენს.

ზემოაღნიშნულიდან გამომდინარე, საქართველოში არსებობს ნავთობისა და გაზის საკმარისი რაოდენობის რესურსები და მარაგი, რომელთაც შეუძლიათ უზრუნველყონ ქვეყნის ენერგოუსაფრთხოება და გადაწყვეტი როლი შეასრულონ ქვეყნის ეკონომიკის განვითარებაში. საქართველოს ნავთობის სიმდიდრის სწრაფად, ეფექტურად და მცირე დანახარჯებით ასათვისებლად საჭიროა:

1. საზოგადოების ნაწილში, საქართველოს ნავთობისა და გაზის რესურსების სიმცირის შესახებ არასწორი წარმოდგენის უარყოფა;

2. უახლესი ტექნოლოგიების გამოყენება სისტემური კომპიუტერული მოდელირების საფუძველზე, რაც გულისხმობს:

ა) ნავთობისა და გაზის ბუდობების ძიებას პირდაპირი კოსმო-გეოლოგიური, გეოქიმიური და გეოფიზიკური მეთოდებით;

ბ) გაწყლიანებული ჭაბურღილების რეაბილიტაციას უახლესი მეთოდებით.

დარგის გადაყვანა ინოვაციური განვითარების გზაზე მოითხოვს მუდმივ და მიზანმიმართულ მუშაობას. ამ მიზნის განსახორციელებლად მიზანშეწონილია შეიქმნას სპეციალიზებული სახელმწიფო სამსახური, რომლის ამოცანა უნდა იყოს მარტო ნავთობისა და გაზის საძიებო-სადაზვერვო და საექსპლუატაციო სამუშაოების ეფექტურობის გაზრდა.

ინოვაციური სამუშაოების ჩატარების შემდეგ, მოსალოდნელია საქართველოს ნავთობგაზომპოვებელი დარგის განვითარება შემდგომ ათწლეულებში. შედეგად ნავთობის მოპოვების ზრდამ შეძლოა მიაღწიოს 8-10 - მლნ. ტონას წელიწადში, ხოლო ხელსაყრელ პირობებში ეს მაჩვენებელი შესაძლოა კიდევ უფრო გაიზარდოს.

აღსანიშნავია, რომ ახალი ტექნოლოგიების დასანერგად გაწეული კაპიტალდაბანდება ბევრად უფრო მცირეა, ვიდრე ტრადიციული ტექნოლოგიების გამოყენებით გაწეული სამუშაოების დანახარჯები. ხოლო სახელმწიფოს მიერ ნავთობის მრეწველობიდან მიღებული შემოსავლების ნაწილი უნდა მოხმარდეს ინოვაციური ტექნოლოგიების დაფინანსებას.

ყოველივე ზემოთაღნიშნულიდან გამომდინარე და უახლოესი პესპექტივების გათვალისწინებით, საქართველოს სამეცნიერო წრეებში ნავთობის და გაზის მოპოვების, გადამუშავების და ტრანსპორტირების სფეროებში ჩატარებული ინოვაციურ ტექნოლოგიებზე დამყარებული სამეცნიერო - კვლევითი სამუშაოების წარმოება, განსაკუთრებით კი ადგილობრივი ბუნებრივი პირობების ეფექტური გამოყენების გათვალისწინებით, დღევანდელი უმნიშვნელოვანეს ამოცანას წარმოადგენს.

წინამდებარე ნაშრომი შეიძლება ჩაითვალოს ამ გამოწვევების რეალიზაციის მოკრძალებულ მცდელობად.

შესავალი

თანამედროვე ეტაპზე, მსოფლიოს მასშტაბით, ყოველდღიურად იზრდება მაღალი სიბლანტისა და გამყარების ტემპერატურის მახასიათებლების მქონე ნავთობის მოპოვება. დღეისათვის, ნავთობისა და ნავთობპროდუქტების ტრანსპორტირების ყველაზე ეკონომიური სახეა მილსადენური ტრანსპორტი.

ნავთობისა და ნავთობპროდუქტების მილსადენური ტრანსპორტირება, მაღალი სიბლანტისა და პარაფინშემცველობის გამო, ტექნიკურად და ტექნოლოგიურად რთული პროცესია. როგორც წესი, ბუნებრივ პირობებში ნავთობი წარმოადგენს ჰეტეროგენულ სტრუქტურულ სისტემას, არანიუტონისეული სითხეების მკვეთრად გამოხატული თვისებებით. ნავთობის არანიუტონისეული ქმედება აიხსნება სიბლანტის ანომალიით, პლასტიკური თვისებების არსებობით და თიქსოტროპიით. (თიქსოტროპია არის ნივთიერების თვისება მექანიკური ზემოქმედებით შემცირდეს მისი სიბლანტე და პირიქით ე.წ. „წყნარ“ მდგომარეობაში გაიზარდოს სიბლანტე).

თანამედროვე მსოფლიოში ნავთობზე გაზრდილი მოთხოვნილება საჭიროებს გადატვირთვის ტექნოლოგიური პროცესის, აპარატურის თუ სატრანსპორტო სისტემის გამუდმებით გაუმჯობესებას, რადგან პროდუქციის გადატანისას მწარმოებლობის ამალგება და ხარისხის გაუმჯობესება დადებითად მოქმედებს როგორც ცალკეული საწარმოს, ასევე მთლიანად ქვეყნის ეკონომიკურ მდგომარეობაზე.

იმ რაიონების კლიმატური პირობების ანალიზი, რომელშიაც განლაგებულია ნავთობის საბადოები და მაგისტრალური მილსადენები, გვიჩვენებს რომ მათი უმეტესი ნაწილი განთავსებულია გარემოს ტემპერატურის მკვეთრი ცვლილების ზონაში. ამასთან დაკავშირებით მილსადენური ხაზების პროექტირება, მშენებლობა და ექსპლუატაცია მთელ რიგ სირთულეებთანაა დაკავშირებული, რადგან კლიმატური პირობების ცვლასთან ერთად ნავთობი იცვლის თავის რეოლოგიურ თვისებებს, რაც ართულებს ტრანსპორტირების პროცესს [97, 98].

მილსადენური ტრანსპორტის ეკონომიკური ეფექტურობა განისაზღვრება პროცესის ენერგოტევადობით და ადჰურვილობის საიმედოობით. თითოეული მათგანი დამოკიდებულია ნავთობის ტრანსპორტირების სიჩქარეზე, მის საწყის და სამომავლო

ტემპერატურაზე, დაწნევის კუთხურ დანაკარგებზე, კონკრეტული წარმოშობის ნავთობის თვისებებზე.

მილსადენური ტრანსპორტის კვლევის საკითხებში უდიდესი წვლილი შეიტანეს ვ.ს. იაბლონსკიმ, ა.ლ.ნელსონმა, ს.მ.კოლიმ, ა.ა.არონემ, მ.ი.პოლიაკმა, ფ. კარგმა, ფ. დუისმა, რ. რასელმა და სხვა მეცნიერებმა. მათი გამოკვლევების ანალიზი გვიჩვენებს, რომ მილსადენური ტრანსპორტის ეფექტურობა მნიშვნელოვნადაა განპირობებული გადასაზიდი ნავთობის ტემპერატურული რეჟიმებით. ამასთან დაკავშირებით, მაღალი სიბლანტის ნავთობის ტრანსპორტირებისას მილსადენის ტემპერატურული რეჟიმის შერჩევა თანამედროვეობის მნიშვნელოვანი ამოცანაა.

მილსადენური ტრანსპორტით სარგებლობისას, მთელ რიგ ტექნოლოგიებს შორის ფართოდაა გავრცელებული: ნავთობის გადატვირთვა წინასწარი შეთბობით, ე.წ. „ცხელი“ გადატვირთვა; მაღალი სიბლანტის ნავთობის შერევა დაბალი სიბლანტის დეპრესორებთან; კომბინირებული, რომელშიც ერთდროულად გამოიყენება ზემოთ მოცემული ორივე მეთოდი. აღნიშნულ პრობლემებზე სხვა და სხვა დროს მუშაობდნენ მეცნიერები: ლ.ს. აბრამზონი, ვ.მ. აგაპკინი, რ.ა. ალიევი, ვ.გ. გუბინი, ე.მ.ბლაინერი, ა.ა. კორშაკი, პ.პ. ტუგონოვი, ვ.ფ. ნოვოსელოვი, ვ.ი. ჩერნიკინი, ვ.ა.იუფინი და სხვა

სადოქტორო ნაშრომში განხილულია ნავთობის ტრანსპორტირების პროცესის სრულყოფის მიზნით, მისი რეოლოგიური მაჩვენებლების გაუმჯობესება სითბოს ბუნებრივი წყაროების, მზისა და გეოთერმული წყლების ენერჯის გამოყენებით. დამუშავებული მეთოდის მიხედვით, მილსადენში მოძრავი ნავთობის გაცხელების მიზნით, ჰელიოსისტემისა და გეოთერმული წყლების გამოყენება გვაძლევს ენერგოეფექტურობის გაზრდის საშუალებას.

ნავთობის შეთბობის მიზნით, მაგისტრალურ მილსადენზე ჰელიოსისტემებისა და თერმული წყლების ენერჯის გამოყენება გამოირჩევა განსაზღვრული უპირატესობით:

1. ამ ტიპის მეთოდების გამოყენება საშუალებას იძლევა ნავთობის გადატვირთვისას, მისი გაცხელების მიზნით, გამოვრიცხოთ ღუმელებში სათბობის წვის მაღალტემპერატურული პროცესი, რაც მნიშვნელოვანია უსაფრთხოების თვალსაზრისით და ეკოლოგიური პრობლემების გადაჭრის მიზნით;
2. თბომცვლელები განსაკუთრებით ეკონომიურად ახდენენ დაბალტემპერატურული ბუნებრივი სითბოს

ტრანსფორმირებას, რაც უზრუნველყოფს ნავთობის თანაბარ შეთბობას მილსადენის მთელ სიგრძეზე იმ დონემდე, რომელიც საკმარისია ჰიდრავლიკური წინააღმდეგობის დასაძლევად; 3. ნავთობის მინიმალურ დონემდე გაცხელებისას თბური პროცესები ხასიათდებიან მაღალი ეფექტურობით.

წარმოდგენილი სამუშაოს მიზანია ნავთობმაგისტრალების გამტარიანობის გაზრდა და ნავთობის ტრანსპორტირებისას პირველადი ენერგორესურსების მოხმარების შემცირება მზისა და თერმული წყლების ბუნებრივი ენერჯის გამოყენებით. დასახული მიზნის მისაღწევად აუცილებელია შემდეგი ძირითადი საკითხების გადაწყვეტა:

1. მაგისტრალზე ავტონომიური პუნქტების განლაგებით ნავთობის ე.წ. „განაწილებული“ გაცხელების ხერხის დამუშავება.
2. ყულევის და ანაკლიის პორტების მიდამოებში, ავტონომიური გეოთერმული პუნქტების განლაგება და ნავთობის გაცხელების მეთოდის დამუშავება.
3. მილსადენის მონაკვეთებზე ჰელიო და გეოთერმულ პუნქტებში გაცხელების ტემპერატურული რეჟიმების განსაზღვრა (სითბოს ბუნებრივ წყაროსთან კავშირში).
4. მილსადენის შუალედურ სადგურებში სხვადასხვა სიბლანტისა და ტემპერატურის ნავთობის და ნავთობპროდუქტების გადატვირთვაზე ენერგოდანახარჯების ოპტიმიზაციის ექსპერიმენტალური კვლევა.
5. მაგისტრალურ პუნქტებში მზისა და გეოთერმული წყლების თბური ენერჯის გამოყენების ეფექტურობის შეფასება.
6. სატრასპორტო ცისტერნებში ნავთობისა და ნავთობპროდუქტების ჩატვირთვა-ჩამოტვირთვის ოპერაციის ჩატარებისას შეთბობის მეთოდის ოპტიმიზაცია.

კვლევის მეთოდები

შესრულებულ სამუშაოში გამოყენებულია კვლევის შემდეგი მეთოდები:

- ა) გრაფიკული მეთოდი;
- ბ) დასმული ამოცანების ექსპერიმენტალური კვლევა;
- გ) მათემატიკური მოდელირების მეთოდი.

კვლევის სიახლე

1. მაღალი სიბლანტის ნავთობის რეოლოგიური მაჩვენებლების გაუმჯობესებისა და მაგისტრალური და ტერმინალური მილსადენების გამტარუნარიანობის გაზრდის მიზნით დამუშავდა მზისა და გეოთერმული წყლების თბური ენერჯის გამოყენების მეთოდიკა ენერგოდანახარჯების შემცირების თვალსაზრისით;
2. დამუშავდა სატრანსპორტო ცისტერნებში ბლანტი ნავთობის და ნავთობპროდუქტების ჩატვირთვა-გადმოტვირთვისას ზემადღისიხშირის გამოსხივებით თბური ზემოქმედების მეთოდიკა.

პუბლიკაციები

სადისერტაციო ნაშრომის თემაზე გამოქვეყნებულია 10 სამეცნიერო ნაშრომი, მათ შორის 4 საერთაშორისო რეფერირებულ ჟურნალში „MACHINES TECHNOLOGIES MATERIALS“ რომელიც რეკომენდირებულია აკაკი წერეთლის სახელმწიფო უნივერსიტეტის საინჟინრო-ტექნიკური ფაკულტეტის სადისერტაციო საბჭოს მიერ.

თავი 1. თემის აქტუალობა და ჩატარებული კვლევების ანალიზი

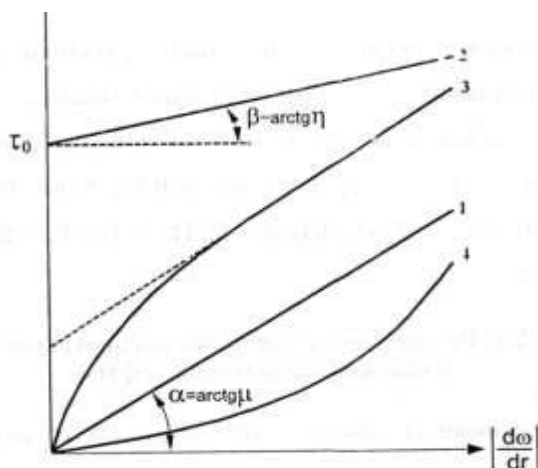
1.1. მაღალი სიბლანტის ნავთობისა და ნავთობპროდუქტების რეოლოგიური თვისებები

რეოლოგიური ეწოდება სითხის თვისებას, რომელიც განსაზღვრავს მისი დინების ხასიათს. დინების ხასიათის მიხედვით განასხვავებენ ნიუტონისეულ და არანიუტონისეულ სითხეებს. ნიუტონისეული სითხეებია: წყალი, მსუბუქი ნავთობპროდუქტები, ნავთობი ფისისა და პარაფინის დაბალი შემცველობით, მაღალი ტემპერატურის მქონე პარაფინშემცველი ნავთობი. ნიუტონისეული სითხეები ხასიათდებიან ძვრის დამაბულობის t (ხახუნის ძალების დამაბულობა შეხებაში მყოფი სითხეების ზედაპირებს შორის) რადიუსის გასწვრივ სიჩქარის გრადიენტზე $\frac{d\omega}{dr}$ (ძვრის სიჩქარე) დამოკიდებულების ერთნაირი ფორმით და ამ დამოკიდებულების გრაფიკულ გამოსახვას ეწოდება სითხის დინების მრუდი (ნახ.1.1).

ნიუტონისეული სითხეების დინების მრუდი სწორი ფორმისაა და საკორდინატო ღერძის მიმართ მისი დახრის კუთხე განისაზღვრება ნიუტონის განტოლებით

$$\tau = \mu \left| \frac{d\omega}{dr} \right| \quad (1.1)$$

სადაც დინების მრუდის დახრის კუთხის განმსაზღვრელი პროპორციულობის კოეფიციენტი μ სითხის დინამიკური სიბლანტეა.



ნახ. 1.1. ძვრის დამაბულობის დამოკიდებულება სხვადასხვა სითხის დინების სიჩქარეზე.

1-ნიუტონისეული; 2-პლასტიკური; 3.ფსევდოპლასტიკური; 4-დილატანტური.

განტოლებაში (1.1) ძვრის სიჩქარის მოდული გათვალისწინებულია იმის გამო, რომ მიმდინარე რადიუსი r აითვლება მილსადენის ღერძიდან, რის გამოც სიდიდე $\frac{d\omega}{dr} < 0$, მაშინ როცა r მნიშვნელობა მხოლოდ დადებითია.

აღნიშნული დამოკიდებულებების გათვალისწინებით შესაძლებელია მხეხი ძაბვების განაწილების სურათის მიღება მილსადენის განივკვეთში: კერძოდ $\tau = 0$ მილსადენის ღერძზე და $\tau = \tau_{max}$ მილსადენის კედლებზე. ნიუტონისეული სითხეების რეოლოგიური თვისებების დასახასიათებლად საკმარისია მათი სიბლანტის, სიმკვრივის და გამყარების ტემპერატურის სიდიდეების ცოდნა.

აღსანიშნავია, რომ სითხეების უმეტესი რაოდენობა მიეკუთვნება არანიუტონისეული სითხეების კლასს და ყველა მათგანის დინების სიჩქარის მრუდი განსხვავებულია მრუდი 1-საგან.

ნიუტონისეული სითხეები თავის მხრივ არსებობს:

- პლასტიკური
- ფსევდოპლასტიკური
- დილატანტური.

სურ. 1.1-ზე აღნიშნული სითხეების დინების მრუდები შესაბამისად აღნიშნულია 2, 3, 4 ინდექსებით.

სურ. 1.1 ანალიზი გვიჩვენებს, რომ პლასტიკური სითხეები დინებას იწყებს გარკვეული დამაბულობის (τ_0) მიღწევის შემდეგ, რომელსაც ძვრის საწყის დამაბულობას უწოდებენ. τ_0 -ზე ნაკლები დამაბულობის შემთხვევაში აღნიშნული სითხეები ემორჩილებიან მყარი სხეულების მოძრაობის კანონებს, ხოლო τ_0 - ზე მეტი მნიშვნელობებისას ისინი ხასიათდებიან ნიუტონისეული სითხეების თვისებებით და ძვრის დამაბულობა ტოლია $\tau - \tau_0$ სიდიდს. დინების მრუდის ცვლილების ხასიათი გვიჩვენებს, რომ პლასტიკური სითხეებისთვის დამაბულობის დამოკიდებულება ძვრის სიჩქარეზე აღიწერება განტოლებით.

$$\tau = \tau_0 + \eta \cdot \left| \frac{d\omega}{dr} \right|, \quad (1.2)$$

აღნიშნული განტოლება შვედოვ-ბინგანის სახელითაა ცნობილი, სადაც η ე.წ. პლასტიკური სიბლანტეა და დინამიკური სიბლანტის ანალოგია, როცა $\tau_0 \neq 0$.

ფსევდოპლასტიკური და დილატანტური სითხეებისათვის, ძვრის სიჩქარის ცვლილების ფართო დიაპაზონში, დამაბულობის დამოკიდებულება ძვრის სიჩქარეებზე ჩაიწერება გამოსახულებით

$$\tau = -K \cdot \left| \frac{d\omega}{dr} \right|^{n-1} \left| \frac{d\omega}{dr} \right| \quad \text{ან} \quad \tau = -K \cdot \left| \frac{d\omega}{dr} \right|^n \quad (1.3)$$

სადაც K და n მოცემული სითხისათვის მუდმივი კოეფიციენტებია. K კოეფიციენტს ეწოდება კონსისტენტურობის მახასიათებელი, ხოლო n - ს დინების ინდექსი.

დინების მრუდების ხასიათიდან გამომდინარე ფსევდოპლასტიკური სითხეებისათვის $n < 1$, ხოლო დილატანტური სითხეებისათვის $n > 1$. გარდა ამისა 1.1 და 1.3 განტოლებების ანალიზი გვიჩვენებს, რომ ნიუტონისეული სითხეების დინება წარმოადგენს ფსევდოპლასტიკური და დილატანტური სითხეების დინების კერძო შემთხვევებს როცა $K = \mu$ და $n = 1$. გამომდინარე აქედან K კოეფიციენტი ახასიათებს სითხის სიბლანტეს, ხოლო n მოცემული სითხის ნიუტონისეული სითხიდან განსხვავების ხარისხს.

ყველა ზემოთაღნიშნული დამოკიდებულება გაერთიანებულია ბალკინ-გერშელის რეოლოგიურ მოდელში

$$\tau = \tau_0 + K \cdot \left| \frac{d\omega}{dr} \right|^n \quad (1.4)$$

მრუდები 2 და 3 წარმოადგენს პარაფინშემცველი ნავთობისა და ნავთობპროდუქტების მახასიათებლებს მათი გამყარების ანუ გაყინვის შესაბამის ტემპერატურაზე. მაღალ ტემპერატურაზე კი ისინი ემსგავსებიან ნიუტონისეულ სითხეებს. მაზუთისა და ზოგიერთი ბლანტი ზეთის რეოლოგიური კვლევა გვიჩვენებს, რომ ისინი ნიუტონისეული სითხეების თვისებებს ინარჩუნებენ შემდეგ ტემპერატურულ ინტერვალში: მაზუთი M - 100 + 35°C ზევით; საავიაციო ზეთი Me - 20 10°C ზევით საავტომობილო ზეთი AC -10 0°C-ს ზევით და ა.შ.

დინების მრუდების ცვლილების ხასიათი, ტემპერატურის ცვლილებაზე დამოკიდებულებით დაკავშირებულია სითხეებში მიმდინარე შიგა გარდაქმნებზე. კერძოდ, მაღალ ტემპერატურაზე პარაფინი სითხეში მთლიანად დნება და აღარ ახდენს გავლენას მის რეოლოგიურ თვისებებზე. დაბალ ტემპერატურაზე კი პირიქით. პარაფინი გამოკრისტალდება და უარყოფითად მოქმედებს სითხის თვისებებზე, რადგან

გაცივების ტემპერატურის მახლობლობაში კრისტალების რიცხვი და ზომები იმდენად იზრდება, რომ ისინი სითხის მოცულობაში წარმოქმნიან სივრცით ცხაურს დაბრკოლების სახით.

გამომდინარე აქედან, არანიუტონისეული ნავთობის რეოლოგიური მახასიათებლების შესაფასებლად, დამატებით აუცილებელია ისეთი სიდიდეების ცოდნა, როგორცაა: ძვრის დამაბულობა, პლასტიკური სიბლანტე, კონსისტენტობის მახასიათებლები და დინების ინდექსი.

ხშირ შემთხვევაში მიზანშეწონილია არანიუტონისეული სითხეები განვიხილოთ როგორც ნიუტონისეული და დინამიკური სიბლანტე ჩავთვალოთ ეფექტურის ტოლად.

$$\mu_{\text{eff}} = \frac{\tau}{\left|\frac{d\omega}{dr}\right|} = \frac{\tau_0}{\left|\frac{d\omega}{dr}\right|} + K \cdot \left|\frac{d\omega}{dr}\right|^{n-1}, \quad (1.5)$$

გეომეტრიული თვალსაზრისით ეფექტური სიბლანტე რიცხობრივად ტოლია იმ α_3 კუთხის ტანგენსისა, რომელსაც ადგენს დინების წრფე ძვრის სიჩქარის $\frac{d\omega}{dr}$ გრადიენტის საწყის კოორდინატთან. ამ დაშვების საფუძველზე, მთელ რიგ შემთხვევებში, მილსადენების გაანგარიშებისას შესაძლებელია ნიუტონისეული სითხეების მახასიათებელი განტოლებების გამოყენება.

1.2. მაღალი სიბლანტის ნავთობის და ნავთობპროდუქტების გადატვირთვის ხერხები

მაღალი სიბლანტის ნავთობისა და ნავთობპროდუქტების მილსადენური ტრანსპორტირება გართულებულია გაზრდილი სიბლანტის, გამყარების მაღალი ტემპერატურისა და სხვა რეოლოგიური თავისებურებებიდან გამომდინარე. რის გამოც გარემოს ტემპერატურის პირობებში, მაღალი ჰიდრავლიკური წინააღმდეგობის შედეგად, მილსადენის ტრასებზე აუცილებელია დიდი რაოდენობის გადამტვირთავი სადგურების განლაგება, რაც ეკონომიური თვალსაზრისით ყოველთვის არ არის მიზანშეწონილი.

გამომდინარე აქედან, ჩვეულებრივი იზოთერმული გადატვირთვის გარდა მიმართავენ გადატვირთვის ისეთ სახეებს, როგორცაა:

1. ჰიდროგადატვირთვა;
2. გადატვირთვა რეოლოგიური თვისებების წინასწარი გაუმჯობესებით (მექანიკური ზემოქმედება, დალექვა, თხევადი გამხსნელების დამატება, თერმული დამუშავება);
3. გადატვირთვა შეთბობით.

ამ ღონისძიებების გატარებით, ჰიდრავლიკური წინააღმდეგობის შემცირება აიხსნება შემდეგი მოსაზრებიდან გამომდინარე. D დიამეტრის და L სიგრძის მილსადენში სითხის პირობითად თანაბარი მოძრაობა, გამოწვეულია წნევის ვარდნით (ΔP) და განტოლებას აქვს სახე

$$\Delta P \cdot \frac{\pi D^2}{4} - \tau_{\omega} \cdot \pi \cdot D \cdot L = 0$$

სადაც τ_{ω} - მხები ძაბვაა მილსადენის კედლებზე.

განტოლებიდან $\Delta P = \tau_{\omega} \cdot \frac{4L}{D}$ გამომდინარეობს პირდაპირპროპორციული დამოკიდებულება ΔP და τ_{ω} შორის.

მეორეს მხრივ დინების მრუდის განტოლებიდან

$$\tau_{\omega} = \mu_3 \cdot \left. \frac{d\omega}{dr} \right|_{r=R}$$

განტოლებებიდან გამომდინარე კედლებზე მხები ძაბვის სიდიდე პირდაპირპროპორციულია მილსადენის კედლებთან კონტაქტში მყოფი სითხის სიბლანტისა. ამ თვალსაზრისით ჰიდროგადატვირთვის დროს, მილსადენის კედლებთან უშუალო შეხებაშია ნაკლებად ბლანტი სითხე წყალი, რაც ამცირებს ჰიდრავლიკურ წინააღმდეგობას. სხვა შემთხვევებში კი რეოლოგიური თვისებების წინასწარი გაუმჯობესებით, მცირდება ეფექტური სიბლანტე μ_3 და შესაბამისად უმჯობესდება სითხის გადაადგილება მილსადენში.

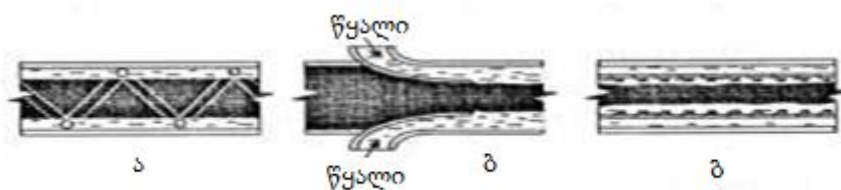
ჰიდროგადატვირთვა.

ჰიდროგადატვირთვა ეწოდება მაღალი სიბლანტის ნავთობის წყალთან ერთად გადატვირთვას. ცნობილია ჰიდროგადატვირთვის რამდენიმე ხერხი:

1. ნავთობის გადატვირთვა წყლის რგოლის შიგნით;

2. წყლისა და ნავთობის ემულსიის გადატვირთვა;
3. ნავთობისა და წყლის გადატვირთვა ერთმანეთთან შერევის გარეშე ნაკადის სტრუქტურების ფორმირებით.

პირველი ხერხი მდგომარეობს იმაში, რომ მილსადენში ერთდროულად იტვირთება წყალი და ბლანტი ნავთობი, ამასთან ეს უკანასკნელი მოძრაობს წყლის რგოლის შიგნით. ასეთი ტიპის რგოლის დამზადება (ნახ. 1.2) შესაძლებელია: ა) ხრახნის ფორმის ამონადარების დამზადებით; ბ) წრიული ქუროების გამოყენებით; გ) პერფორირებული მილსადენის დამზადებით.



ნახ. 1.2. ნავთობის ჰიდროგადატვირთვა წყლის რგოლების შიგნით.

- ა-ხრახნის ფორმის ამონადარები; ბ-წრიული ქუროების გამოყენება;
 გ-პერფორირებული მილსადენი.

ჰიდროგადატვირთვის მეორე ხერხის არსი მდგომარეობს შემდეგში: მაღალი სიბლანტის ნავთობი და წყალი ერთმანეთში ერევა ისეთი პროპორციით, რომ უზრუნველყოს ემულსიის „ნავთობი წყალში“ ჩამოყალიბება. ამ შემთხვევაში ნავთობის ნაწილაკები მოთავსებულია წყლის აფსკის შიგნით, რის გამოც არ ხდება მილსადენის შიგა ზედაპირზე ნავთობის კონტაქტი და შესაბამისად მცირდება ჰიდრავლიკური წინააღმდეგობა.

ასეთ შემთხვევაში ემულსიის სტაბილურობის შესანარჩუნებლად, მასში ურევენ ზედაპირულ-აქტიურ ნივთიერებას. ემულსიის მდგრადობა განისაზღვრება დანამატის მახასიათებლებით და კონცენტრაციით, დინების რეჟიმით, ტემპერატურით, ნაკადში წყლისა და ნავთობის თანაფარდობით.

ნარევი წყლის მოცულობის შემცირება აუარესებს ემულსიის მდგრადობას. წყლის მოცულობის გაზრდით მართალია ემულსიის მდგრადობა მაღლდება, მაგრამ ამასთანავე იზრდება ენერგოდანახარჯები ბალასტური წყლის გადატვირთვაზე.

ექსპერიმენტალური კვლევით დადგენილია, რომ ემულსიაში წყლის რაოდენობა უნდა შეადგენდეს სატრანსპორტო ნარევის საერთო მოცულობის 30%-ს.

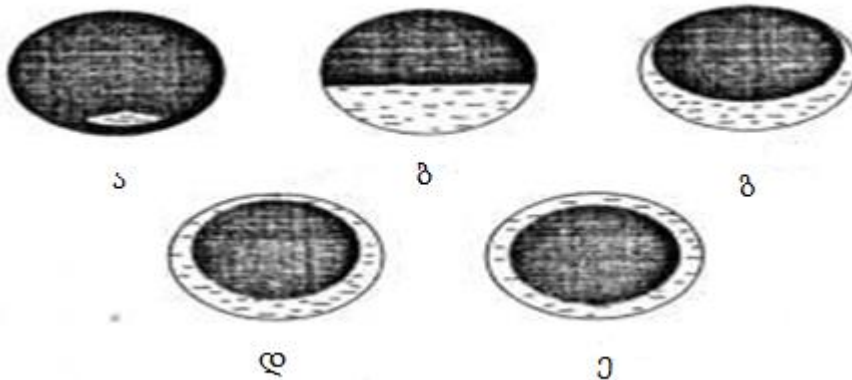
ჰიდროგადატვირთვის აღნიშნული მეთოდის უარყოფითი მხარეა ფაზების შებრუნების საშიშროება (ნახ. 1.3.), ან რაც იგივეა ემულსია „ნავთობი წყალში“ შეიძლება შეიცვალოს ემულსიით „წყალი ნავთობში“ გადატვირთვის სიჩქარის ან ტემპერატურის ცვლილებისას.



ნახ. 1.3. ჰიდროგადატვირთვა ემულსიის სახით:

ა-ტიპი „ნავთობი წყალში“; ბ-ტიპი „წყალი ნავთობში“.

ჰიდროგადატვირთვის მესამე ხერხი წარმოადგენს ნავთობისა და წყლის გადატვირთვისას, ნაკადის სტრუქტურის ფორმირებას ერთმანეთთან შერევის გარეშე (ნახ.1.4).



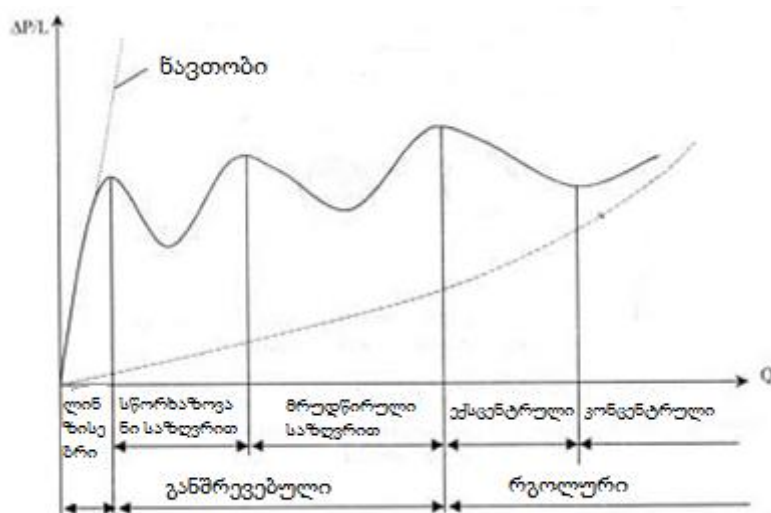
ნახ. 1.4. წყალი-ნავთობის ნაკადის სტრუქტურული ფორმა წყლისა და ნავთობის შრეობრივი გადატვირთვისას.

ა-ლინზური; ბ-გაყოფა ბრტყელი საზღვრით; გ-გაყოფა მრუდწირული საზღვრით; დ-ექსცენტრული წრიული; ე-კონცენტრული წრიული.

იმის გამო, რომ მილსადენის პერიმეტრის გარკვეული ნაწილი კონტაქტშია დაბალი სიბლანტის წყალთან, იზრდება მილსადენის მწარმოებლობა და ნავთობის უცვლელი ხარჯის შემთხვევაში მცირდება წნევის ვარდნა. ხელოვნური ჩარევის გარეშე,

წყლისა და ნავთობის ერთობლივი დინება ხასიათდება დინების სტრუქტურული ფორმით, რომლის დროსაც ერთი გადადის მეორეში სიჩქარის ცვლილების შესაბამისად.

დინების ყოველი სტრუქტურული ფორმა ყალიბდება თვითნებურად შესაბამისი პირობებიდან გამომდინარე. ამასთან საინტერესოა ნავთობწყალის ნაკადის სტრუქტურული ფორმის კავშირი ჰიდრავლიკური დახრის სიდიდესთან. ექსპერიმენტალური მონაცემების საფუძველზე აღნიშნული კავშირი მოცემულია ნახ. 1.5 - ზე. სტრუქტურული ფორმის ცვლა წარმოებს მაშინ, როცა სისტემა შიგა ცვლილების ხარჯზე იკავებს შედარებით დაბალი შიგა ენერგიის მდგომარეობას (თერმოდინამიკის მე-2 კანონი.)



ნახ. 1.5. ჰიდრავლიკური დახრის დამოკიდებულება ხარჯზე წყლისა და ნავთობის ნარევის გადატვირთვისას.

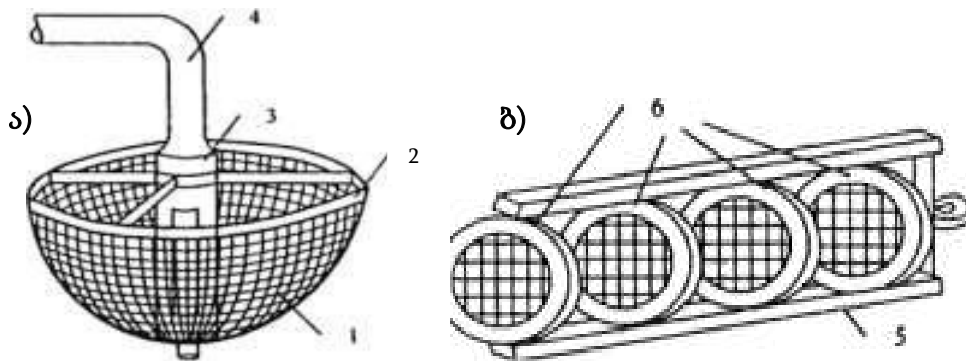
ნავთობის გადატვირთვა მექანიკური ზემოქმედებით რეოლოგიური მახასიათებლების წინასწარი გაუმჯობესებით.

აღნიშნული გადატვირთვის არსი მდგომარეობს შემდეგში: მაღალპარაფინშემცველობის ნავთობს აცივებენ მასში პარაფინული სტრუქტურების წარმოქმნამდე, შემდეგ კი მექანიკური ზემოქმედებით ახდენენ ამ უკანასკნელის რღვევას.

გადატვირთვის ჩვეულებრივი სიჩქარეები უზრუნველყოფს ნავთობში პარაფინის იმ შემცველობას, რომელიც ხანგრძლივი დროის მანძილზე ინარჩუნებს მოძრაობის

შესაძლებლობას. პარაფინული სტრუქტურების დაშლა შესაძლებელია: სპეციალური შემრევებით; ვიბროდამუშავებით; დიაფრაგმის გამოყენებით და ა.შ.

ნავთობის ვიბროდამამუშავებელი მოწყობილობის ძირითადი ელემენტებია: მილსადენები და საცერი, რომელიც უშუალო კონტაქტშია ნავთობთან და რხევით მოძრაობაში შეიძლება უშუალოდ მოქმედებდეს მილსადენებზე საცერის გამოყენების გარეშე.



ნახ. 1.6. მაღალპარაფინიანი ნავთობის დამამუშავებელი მოწყობილობა.

ა) რეზერვუარში; ბ) მილსადენებში.

1-საცერი; 2-სარტყელი; 3-ვიბრატორი; 4-სუსპენზიის ამომტუმბავი მილსადენი;

5-გარსაცმი; 6-რგოლი მავთულბადით.

ვიბროდამუშავება ხორციელდება 1,5-დან 8 მმ ზომის უჯრედებიანი ვიბროსაცერით, 20-25 ჰც სიხშირის პირობებში 1-5 წთ ხანგრძლივობით. მოწყობილობა მუშაობს შემდეგი სქემით: ჩართულ ვიბრატორში (3) ჩატვირთავენ ნავთობს, რომლის ტემპერატურა მისი გაცივების ტემპერატურაზე 5-10⁰-ით დაბალია. ნავთობი გაივლის ვიბროსაცერის უჯრედებში, რის შედეგაც პარაფინული სტრუქტურა ირღვევა და წარმოქმნილი სუსპენზია ვიბრატორის კორპუსში განლაგებული ნახვრეტებით მიეწოდება შემწვოვ მილსადენში.

პარაფინული სტრუქტურის რღვევა შესაძლებელია უშუალოდ მილსადენშიც, რისთვისაც გამოიყენება ნახ. 1.6.ბ-ზე გამოსახული მოწყობილობა. მოწყობილობა შედგება გარსაცმისაგან (1) რომელშიაც შიგნიდან მიმაგრებულია რგოლები

მავთულბადეებით (2). უჯრედის ზომები და ვიბრაციის სიხშირე იგივეა, რაც ზემოთ განხილულის შემთხვევაში. სტრუქტურის ფორმის რღვევა მიიღწევა გარსაცმის წინსვლა-უკუსვლითი მოძრაობის შედეგად ნაკადის მოძრაობის მიმართულებით.

განხილული მეთოდის, ნავთობის რეოლოგიური პარამეტრების გაუმჯობესების, ეფექტურობაზე მიუთითებს შემდეგი ფაქტი: გამოსაცდელი ნავთობის ვიბროსაცერით დამუშავების შედეგად, ძვრის სიჩქარის გრადიენტის $2800-3200 \text{ წმ}^{-1}$ მნიშვნელობისათვის სიბლანტე შემცირდა 18-20-დან 0,5-1 პა.წმ-მდე. მაგრამ დროის გარკვეული მონაკვეთის შემდეგ პარაფინის სტრუქტურა ნავთობში ისევ აღდგება და დროის ხანგრძლივობა განისაზღვრება ნავთობის შემადგენლობით.

კვლევებით დადგენილია, რომ პარაფინშემცველი ნავთობი მექანიკური დამუშავების შედეგად არ იცვლის თვისებებს, რადგან პარაფინის სტრუქტურა დამუშავების შეწყვეტის შემდეგ სწრაფად აღდგენადია.

მოწყობილობის მცირე მწარმოებლობის გამო, ვიბროდამუშავების მეთოდი პრაქტიკაში უმნიშვნელო მასშტაბით გამოიყენება. ამასთან გამოყენების ძირითადი სფეროებია რეზერვუარიდან გაცივებული ნავთობის ამოტუმბვა და ტექნოლოგიური მილსადენები.

თერმულად დამუშავებული ნავთობის გადატვირთვა

ნავთობის თერმული დამუშავება ეწოდება მის თბურ დამუშავებას და ითვალისწინებს ნავთობის გაცხელებას პარაფინის დნობის ტემპერატურაზე მაღალ ტემპერატურამდე, მოცემული სიჩქარით შემდგომი თანდათანობით გაგრილებით, მისი რეოლოგიური მახასიათებლების გაუმჯობესების მიზნით.

პარაფინშემცველი ნავთობისა და ნავთობპროდუქტების თერმული დამუშავება პირველად განხორციელდა გასული საუკუნის 30-იან წლებში. ნავთობის თერმულმა დამუშავებამ გამოიწვია სიბლანტის თითქმის ორჯერ და გამყარების ტემპერატურის 20° -ით შემცირება.

ნავთობის თერმული დამუშავების კვლევების საფუძველზე გამოვლენილია შემდეგი კანონზომიერებები:

1. თერმული დამუშავება აუმჯობესებს მხოლოდ პარაფინიანი, ასფალტისა და ფისოვანი ნაერთების შემცველი ნავთობის რეოლოგიურ მახასიათებლებს.
2. პარაფინშემცველი ნავთობისათვის არსებობს გაცხელების ოპტიმალური ტემპერატურა, რომლისთვისაც თერმული დამუშავების ეფექტი უდიდესია.
3. ნავთობში რაც მეტია პარაფინის შემცველობის თანაფარდობა ასფალტისა და ფისოვანი ნაერთების შემცველობაზე, მით ნაკლებია თერმული დამუშავების ეფექტი.
4. თერმულად დამუშავებული ნავთობის თვისებები მნიშვნელოვნადაა დამოკიდებული გაგრილების მეთოდსა და სიჩქარეზე.
5. თერმული დამუშავება პარაფინის დნობის ტემპერატურასთან შედარებით დაბალ ტემპერატურაზე მკვეთრად აუარესებს ნავთობის რეოლოგიურ თვისებებს.

ჩამოთვლილი კანონზომიერებებიდან გამომდინარე ნავთობის რეოლოგიური თვისებების გაუმჯობესების მიღწევა დაკავშირებულია კრისტალიზაციის პროცესში პარაფინის სტრუქტურულ სახეცვლილებასთან.

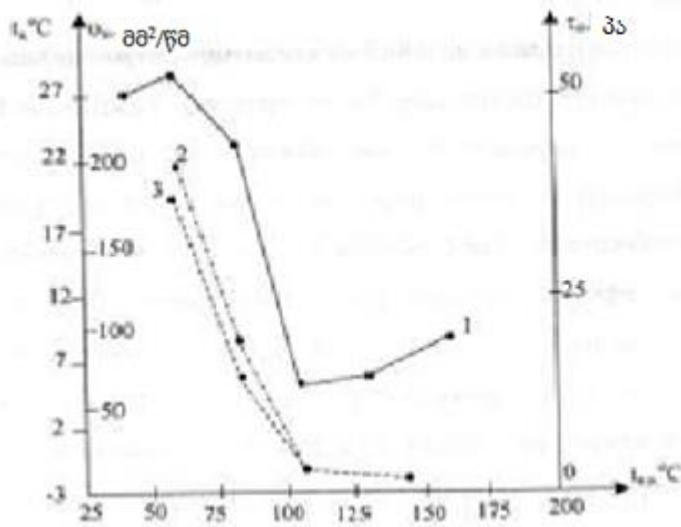
ჩვეულებრივ პირობებში, ბუნებრივი გაგრილების შემთხვევაში პარაფინირებულ ნავთობში ყალიბდება პარაფინის კრისტალური სტრუქტურა, რაც ანიჭებს მას მყარი სხეულის თვისებებს. სტრუქტურის სიმტკიცე მით მეტია, რაც მაღალია პარაფინის კონცენტრაცია და მცირეა ჩამოყალიბებული კრისტალების ზომები.

პარაფინის დნობის ტემპერატურაზე მაღალ ტემპერატურამდე ნავთობის გაცხელებით მიიღწევა მასში არსებული პარაფინის სრული გადნობა, ხოლო მისი შემდგომი გაცივებით პარაფინი ისევ განიცდის კრისტალიზაციას. ნავთობში პარაფინის კრისტალების სიდიდეზე, რიცხვსა და ფორმაზე, მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს კრისტალიზაციის ცენტრების წარმოქმნის სიჩქარის თანაფარდობა უკვე არსებული კრისტალების ზრდის სიჩქარესთან. ასფალტისა და ფისოვანი ნაერთების ადსორბცია პარაფინის კრისტალებზე იწვევს მათი ზედაპირული დაჭიმულობის შემცირებას, რის გამოც პარაფინის გამოყოფა უკვე არსებული კრისტალების ზედაპირზე ენერგეტიკულად უფრო მომგებიანია, ვიდრე კრისტალიზაციის ახალი ცენტრების ჩამოყალიბება.

თერმულად დამუშავებული ნავთობის რეოლოგიური პარამეტრების გაუმჯობესების ხარისხი დამოკიდებულია მისი გაცხელების ტემპერატურის სიდიდესა და შემდგომი გაცივების პირობებზე. თერმული დამუშავების ოპტიმალური ტემპერატურის სიდიდე დაკავშირებულია შემდეგ პირობებთან. ნავთობში არსებული პარაფინის კრისტალებზე ადსორბირებულია ასფალტის და ფისის ნაერთი. დაბალ ტემპერატურაზე გახურებისას პარაფინის კრისტალების გარკვეული ნაწილი განიცდის დნობას და გამოთავისუფლებული ასფალტისა და ფისის ნაერთები ადსორბირდება გაუდნობელი პარაფინის კრისტალებზე. შემდგომი გაცივების შედეგად, ხსნარიდან გამოთავისუფლებული პარაფინის მცირე კრისტალები წარმოქმნის მტკიცე სტრუქტურას, რაც იწვევს ნაკეთობის ეფექტური სიბლანტისა და გაცივების ტემპერატურის ამაღლებას.

ნავთობის მაღალ ტემპერატურაზე გაცხელებისას იზრდება პარაფინის გამდნარი კრისტალების რიცხვი და გამოთავისუფლებული ასფალტისა და ფისოვანი ნაერთების რაოდენობა. შედეგად ამისა მცირდება გაუდნობელი პარაფინის კრისტალების რიცხვი და ადსორბირებული ასფალტისა და ფისის ნაერთების მასა. გაცივების პროცესში გამოთავისუფლებული ასფალტისა და ფისის ნაერთები წარმოქმნიან პარაფინის შედარებით მსხვილ კრისტალებს, რაც დადებითად აისახება ნავთობის რეოლოგიურ თვისებებზე. ეფექტი გაცილებით დიდია პარაფინის კრისტალების სრული გადნობისას, თუმცა ნავთობის ზედმეტად გაცხელება იწვევს ასფალტისა და ფისოვანი ნაერთების შეუქცევადი დაშლის პროცესის და თერმული დამუშავების ეფექტის შემცირებას. რადგან სხვადასხვა წარმოშობის ნავთობში პარაფინის შემცველობა სხვადასხვაა, ამიტომ თერმული დამუშავების ოპტიმალური ტემპერატურის განსაზღვრა ხდება ექსპერიმენტალური კვლევის გზით.

ნახ. 1.7 მოცემულია თერმული დამუშავების ტემპერატურის გავლენა ნავთობის რეოლოგიურ პარამეტრებზე.



ნახ. 1.7. თერმული დამუშავების ტემპერატურის გავლენა ნავთობის რეოლოგიურ პარამეტრებზე.

- 1-გამყარების ტემპერატურა; 2-ეფექტური კინემატიკური სიბლანტე;
3-ძვრის საწყისი დამაბულობა.

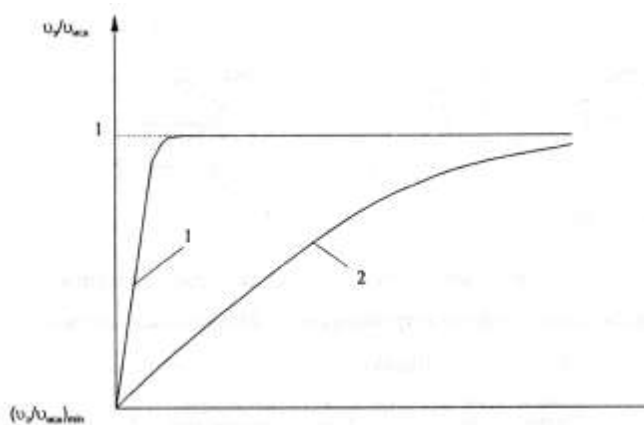
გრაფიკიდან ჩანს, რომ თერმული დამუშავებისას 50°C ტემპერატურამდე, ნავთობის გამყარების ტემპერატურა შემცირების მაგიერ იზრდება. თერმული დამუშავების ტემპერატურის შემდგომი გაზრდა იწვევს გამყარების ტემპერატურის შემცირებას და 110°C ტემპერატურის შემდეგ გამყარების ტემპერატურა ისევ იზრდება. ამავე დიაგრამაზე ნაჩვენებია ეფექტური სიბლანტისა (ν) და ძვრის საწყისი დამაბულობის (τ) ცვლილების დამოკიდებულება თერმული დამუშავების ტემპერატურაზე. დიაგრამიდან ჩანს, რომ სიდიდეების ν და τ მკვეთრი შემცირება ხორციელდება $t_{T0} \leq 90^{\circ}\text{C}$ ტემპერატურამდე, ხოლო ამ უკანასკნელის შემდგომი გაზრდა პრაქტიკულად არ იძლევა ეფექტს. გამომდინარე აქედან ნავთობის თერმული დამუშავების ოპტიმალური ტემპერატურა 90°C ტოლია.

უნდა აღინიშნოს, რომ ნავთობის გაცივების ტემპერატურა გავლენას ახდენს პარაფინის კრისტალების ზრდის პროცესზე. გაცივების ოპტიმალურ ტემპერატურაზე ყალიბდება პარაფინისა და ფისოვანი ნაერთების მსხვილი კონგლომერატი, რომელიც არათანაბრად ნაწილდება მთელ მოცულობაში. იმ შემთხვევაში, თუ ნავთობი

თერმულად არ მუშავდება ოპტიმალურ ტემპერატურამდე, გაცივებისას პარაფინის კრისტალიზაცია ხდება არაოპტიმალური სიჩქარით, რის შედეგადაც წარმოქმნილი დიდი რაოდენობის მცირე ზომის კრისტალები თანაბრად ნაწილდება მთელ მოცულობაში და ერთმანეთთან შეერთებისას ქმნიან საკმაოდ მტკიცე სტრუქტურულ მესერს, რომლის უჯრედებში განთავსებულია ნავთობი თხევადი სახით.

თერმული დამუშავების შედეგზე მნიშვნელოვნად მოქმედებს ნავთობის მდგომარეობა გაცივების პროცესში. კერძოდ, თუ თერმული დამუშავების შემდეგ, ნავთობი უშუალოდ გადაიტუმბება მილსადენში, მაშინ მისი რეოლოგიური თვისებები მნიშვნელოვნად დაბალია იმ მაჩვენებლებთან შედარებით, რომელიც გააჩნია ნაკადში გაცივების პირობებში. ხშირ შემთხვევაში მიმართავენ გაგრილების კომბინირებულ მეთოდს: თერმული დამუშავების ოპტიმალური ტემპერატურიდან (90°C), $40-60^{\circ}\text{C}$ ტემპერატურამდე აგრილებენ მოძრავ ნავთობს, ხოლო $40-60\%$ -დან დაწყებული აგრილებენ სტატიკურ პირობებში.

აუცილებელია ავლნიშნოთ, რომ დროის გარკვეული პერიოდის შემდეგ, თერმულად დამუშავებული ნავთობის რეოლოგიური თვისებები თანდათან უარესდება და ღებულობს საწყის მნიშვნელობებს. ამ ფაქტის დასადასტურებლად, ორი სხვადასხვა წარმოშობის ნავთობის ეფექტური სიბლანტის ცვლილება თერმული დამუშავების შემდეგ მოცემულია ნახაზზე 1.8. პირველი ნავთობი თავის საწყის თვისებებს აღიდგენს 3 დღელამის შემდეგ, მეორე კი 45 დღელამეში.



ნახ. 1.8. თერმული დამუშავების შემდეგ ნავთობის ეფექტური სიბლანტის აღდგენა დროში.

გამომდინარე აქედან, ნავთობის მილსადენით ტრანსპორტირების პრობლემების გადასაჭრელად, ყოველთვის არაა საკმარისი ერთჯერადი თერმული დამუშავება.

ნავთობის გადატვირთვა დეპრესორული მისართებით.

დეპრესორული მისართების გამოყენება მაღალი პარაფინშემცველი ნავთობის მილსადენური ტრანსპორტირებისას წარმოადგენს ერთ-ერთ პერსპექტიულ მეთოდს, რადგან ასეთი ნივთიერებები მნიშვნელოვნად ამცირებენ ეფექტურ სიბლანტეს, ძვრის ზღვრულ დამაბულობას და გამყარების ტემპერატურას.

ტიპიურ ბუნებრივ დეპრესორს წარმოადგენს ნავთობის შემადგენლობაში არსებული ასფალტისა და ფისის ნაერთები. ამიტომ მაღალპარაფინირებული ნავთობის რეოლოგიური მახასიათებლების გაუმჯობესების მიზნით, ეფექტურია მასზე ისეთი დეპრესორების (გუდრონი, ბითუმი და სხვა) დამატება, რომლებიც დიდი რაოდენობით შეიცავენ ზემოთ აღნიშნულ ნაერთებს. მნიშვნელოვანი ეფექტი მიიღწევა სპეციალური პოლიმერული მისართების გამოყენებით. გამოყენებული მისართის რაოდენობა შეადგენს ნავთობის მთლიანი მასის 0,02-0,15%.

პოლიმერული მისართების ნავთობზე დამატება ხორციელდება 60-70°C ტემპერატურულ ზღვრებში, ე.ი. მაშინ, როცა პარაფინის მყარი მასის ძირითადი ნაწილი თხევად მდგომარეობაშია. თუ დამატება მოხდება პარაფინის კრისტალიზაციის ტემპერატურამდე, მაშინ მისართის გამოყენება არაეფექტურია. პარაფინის დნობის ტემპერატურის ზევით ნავთობის გაცხელებისას დეპრესორის ეფექტურობა იზრდება.

აღსანიშნავია, რომ დეპრესორის მოქმედების ეფექტურობაზე მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს ნავთობთან შერევა და გაგრილების ტემპი. რადგან თუ დეპრესორით დამუშავებული ნავთობის გაცივება მიმდინარეობს ტურბულენტური დინების რეჟიმში, მისი რეოლოგიური თვისებები რამდენჯერმე უარესია ლამინარულ რეჟიმში გაცივებასთან შედარებით. ნათელია, რომ გაგრილების პირობების გავლენა დაკავშირებულია თერმული დამუშავების ეფექტთან და არა დეპრესორის მოქმედებასთან.

დეპრესორის მოქმედების მექანიზმი დღეისათვის არც ისე ნათელია. თუმცა გარკვეული მოსაზრებით მათი მოლეკულები ადსორბირდებიან პარაფინის

კრისტალებზე, ხელს უშლიან მათ ზრდას და დენადი სუსპენზიის მიღებით უმჯობესდება ნავთობის რეოლოგიური მაჩვენებლები.

ნავთობში დეპრესორების შერევისას აუცილებელია უზრუნველყოთ მისი თანაბარი განაწილება მთელ მოცულობაში. თუმცა ამ შენთხვევაში მისართების ხარჯი იზრდება და შესაბამისად მნიშვნელოვანია დანახარჯები, მაგრამ მკვეთრად უმჯობესდება ნავთობის რეოლოგიური მაჩვენებლები. კერძოდ, ДПН-1 მისართის ზამთრის პერიოდში გამოყენებამ შესაძლოა გამოიწვიოს მილსადენის ცალკეულ მონაკვეთზე გამტარიანობის გაზრდა 87,5%-ით. ამავდროულად გადატვირთვისას მნიშვნელოვნად მცირდება წნევის ცვალებადობა.

მისართების გამოყენება დადებითად მოქმედებს მოლსადენის გაჩერების შემდეგ გადატვირთვის განახლებისას აუცილებელი წნევის სიდიდის მისაღებად. მაგალითად, თუ ასეთ შემთხვევაში დეპრესორის დამატებამდე, ზამთრის პერიოდში, მილსადენის გაშვებას სჭირდება 2-3 დღეამე დამატების შემდეგ ეს პერიოდი 1-2 დღეამეა. ეს ფაქტი მიუთითებს იმაზე, რომ დეპრესორის დამატების შემდეგ, ნავთობი პარაფინის მაღალი შემცველობით უახლოვდება ნიუტონისეულ სითხეებს და მილსადენის გაჩერებისას მასში არ ჩამოყალიბდება მოძრაობის შემზღუდველი კრისტალური მესერი.

შემთბარი ნავთობის გადატვირთვა.

თანამედროვე ეტაპზე მაღალი სიბლანტისა და პარაფინის შემცველი ნავთობის მილსადენით ტრანსპორტირების ფართოდ გავრცელებული ხერხია გადატვირთვა მისი წინასწარი შეთბობით. არსებობს ამ მეთოდის რამდენიმე ვარიანტი, რომელთა შორის ყველაზე ფართოდაა გავრცელებული შემდეგი:

- ელექტრული დენის გატარება უშუალოდ მილის კედელში;
- ელექტროგამხურებელი ელემენტის გამოყენება კაბელის ან ლენტის სახით.

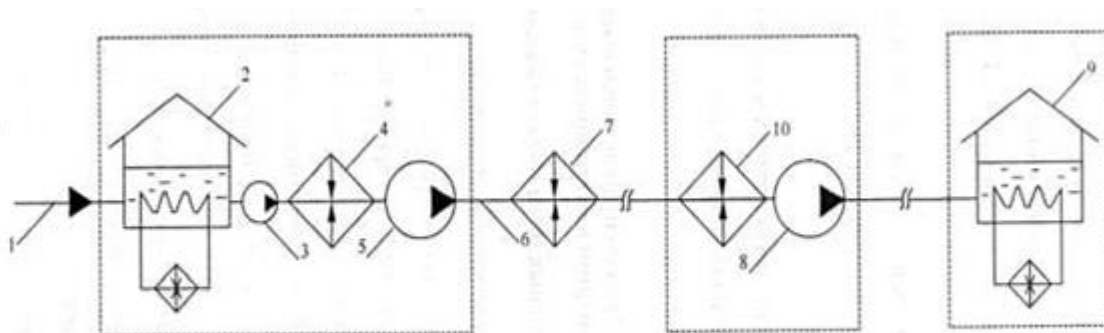
მილის პირდაპირი ელექტროშეთბობა გულისხმობს მილსადენის იზოლირებულ მონაკვეთების ცვლადი დენის წყაროსთან (მაზვა არ აღემატება 50ვ) უშუალოდ მიერთებას. დენის გატარებისას, ჯოულის ეფექტის თანახმად, მიმდინარეობს მილსადენის და მასში გამავალი ნავთობის ან ნავთობპროდუქტების თანაბარი გაცხელება. როგორც წესი კვების წყაროს ამ შემთხვევაში წარმოადგენს ერთფაზა

ტრანსფორმატორი. უსაფრთხოების ტექნიკის მოთხოვნების და მილის დაბალი წინააღმდეგობის გამო კვების წყაროს დამაბულობა შეადგენს 12-36 ვ. ერთი კვების წყაროს მიერ შესატობი მილსადენის სიგრძე შეადგენს 1200 მ. იმ შემთხვევაში, თუ მილსადენის სიგრძე დიდია, მისი დაყოფა ხდება რამდენიმე მონაკვეთად და თითოეულს გააჩნია საკუთარი კვების წყარო. მაგრამ ასეთ შემთხვევაში ნავთობის გაცხელების ხარჯები მნიშვნელოვნად იზრდება კვების ბლოკების დიდი რიცხვის გამო. გარდა ამისა ამ მეთოდის მაგისტრალურ მილსადენებზე გამოყენება გართულებულია ტექნიკური მიზეზით: მილსადენი იზოლირებული უნდა იყოს გრუნტთან ელექტრული დენის დანაკარგების გამორიცხვის მიზნით, რაც განპირობებულია როგორც ეკონომიკური, ასევე უსაფრთხოების თვალსაზრისით.

ელექტროგამახურებელი ელემენტების უფრო ფართოდ გავრცელებული სახეა კაბელი ან ლენტა. კაბელებს მაღალ წინააღმდეგობასთან ერთად გააჩნიათ თერმომდეგი ელექტროიზოლაცია და მექანიკური დაზიანებისაგან დამცავი საშუალება. კაბელი ძირითადად მონტაჟდება მილსადენის გარე ზედაპირზე და მილის ყოველ 1 მ-ზე მოთხოვნილი სიმძლავრე შეადგენს მიახლოებით 100 ვტ, თუმცა უფრო ეფექტურია გამაცხელებელი კაბელის მილის შიგნით განლაგება. შეთობის ამ სახის უარყოფითი მხარეებია: არათანაბარი გაცხელება მილის პერიმეტრზე, რაც იწვევს კაბელის მაღალი ტემპერატურის აუცილებლობას, ამასთან კაბელის მოთხოვნილი სიმძლავრე ყოველ 13,2 კმ-ზე შეადგენს 4000 კვტ.

მილის გაცხელების მიზნით უფრო ფართოდ გამოყენება ჰპოვა ელექტროგამახურებელმა ლენტამ სიგანით 25-80 მმ, აქტიური ნაწილის სიგრძით 3-4 მ და სიჩქარით 1,5 მმ. სითბური ენერჯის დანაკარგების შემცირების მიზნით ლენტა დაფარულია თბური იზოლაციით.

მაგისტრალური მილსადენებისათვის ფართოდ გავრცელებული მეთოდია ე.წ. „ცხელი“ გადატვირთვა, რაც ითვალისწინებს პერიოდულად მის გაცხელებას მილსადენში მიწოდებამდე. ასეთი გადატვირთვის პრინციპული სქემა მოცემულია ნახ.1.9.



ნახ. 1.9. ცხელი გადამტვირთვის პრინციპიალური ტექნოლოგიური სქემა.

1-მისაწოდებელი მილსადენი; 2, 9-რეზერვუარი; 3-მიმწოდებელი ტუმბო;

4, 7, 10-დამატებითი გამაცხელებლები; 5, 8-ძირითადი ტუმბოები;

ГНТЦ - სათაო სათბობ-სატუმბი სადგური; НТЦ -სათბობ-სატუმბი სადგური,

КП-საბოლოო პუნქტი.

ნავთობი მილსადენიდან (1) მიეწოდება სათაო გადამტვირთი სადგურის რეზერვუარში (2). რეზერვუარი აღჭურვილია გამაცხელებელი მოწყობილობით, საიდანაც გამთბარი ნავთობი მიმწოდებელი ტუმბოთი (3) გადაიტვირთება დამატებით გამაცხელებელში (4). გაცხელებული ნავთობი მაგისტრალური ტუმბოთი (5) მიეწოდება მაგისტრალურ მილსადენში (6).

მაგისტრალურ მილსადენში მოძრავი ნავთობი გარემოსთან თბოცვლის პროცესის გამო გრილდება. აღნიშნულის გამო მილსადენის ყოველ 25-100 კმ-ზე განთავსებულია შემთბობი პუნქტები (7). გამთბარი ნავთობი შუალედური გადამცემი სადგურიდან (8) მიეწოდება საბოლოო პუნქტის რეზერვუარში (9), რომელიც ასევე აღჭურვილია შემთბობის სისტემით.

1.3. პირველი თავის დასკვნები

1. ნავთობის და ბუნებრივი აირის მოპოვების, გადამუშავების და ტრანსპორტირების ინოვაციურ ტექნოლოგიებზე დაფუძნებული მეცნიერული კვლევა ადგილობრივი კლიმატური პირობების ეფექტური გამოყენების გათვალისწინებით, თანამედროვეობის პირველხარისხოვანი პრობლემაა.

2. მილსადენური ტრანსპორის ეკონომიკური ეფექტურობა განისაზღვრება პროცესის ენერგოტევადობით და აღჭურვილობის საიმედოობით, რომლებიც თავის მხრივ ნავთობის თვისებებზე, ტრანსპორტირების სიჩქარეზე, საწყის და საბოლოო ტემპერატურაზე, დაწნევის დანაკარგებზე დამოკიდებული სიდიდეებია.

3. აღსანიშნავია მეტეოროლოგიური პირობების სეზონური ცვლილების მნიშვნელოვანი გავლენა მილსადენის ტემპერატურულ რეჟიმზე. ზამთრის და გაზაფხულის პერიოდში გადატუმბვის საშუალო ტემპერატურა მცირდება, ხოლო ზაფხულის და შემოდგომის პერიოდში იზრდება.

4. დაბალი ტემპერატურის სითბოს ბუნებრივი წყაროების გამოყენების ეფექტურობა, ჰიდრავლიკური წინააღმდეგობის შემცირების და მაგისტრალური ნავთობსადენის გამტარუნარიანობის გაზრდის თვალსაზრისით, წარმოადგენს კვლევის ძირითად ამოცანას.

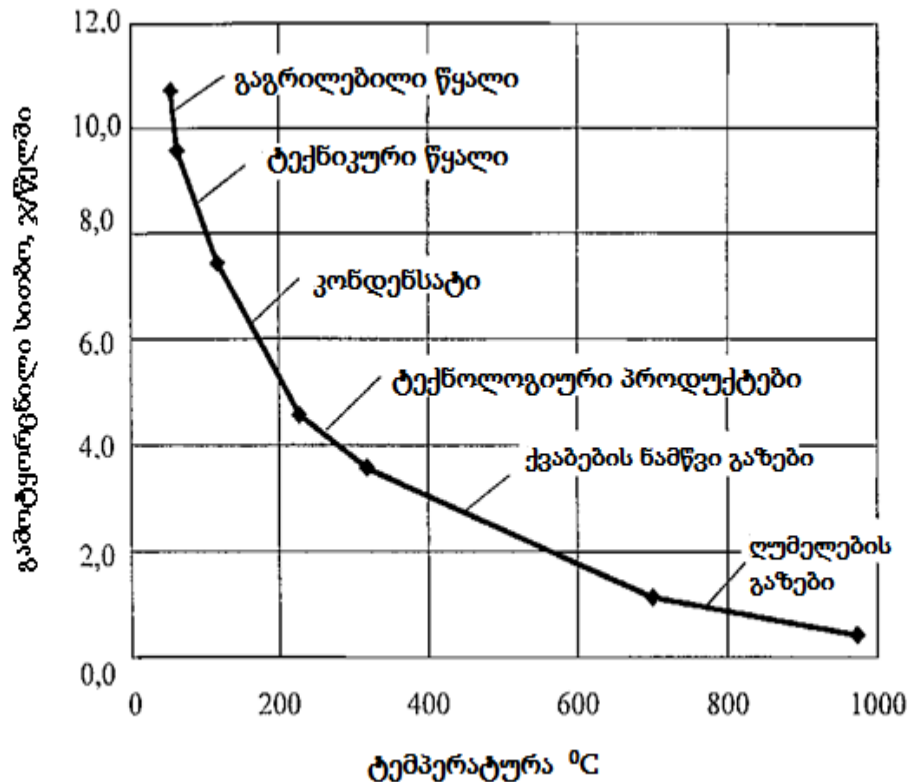
თავი 2. სითბოს ბუნებრივი წყაროების გამოყენებით მილსადენში მოძრავი ნავთობის შეთბობის შესაძლებლობების დასაბუთება

სათბობ-ენერგეტიკული რესურსების რაციონალური გამოყენება თანამედროვე მსოფლიოს უმნიშვნელოვანესი გლობალური პრობლემაა. ამ პრობლემის მაღალ დონეზე წარმატებით გადაჭრა განმსაზღვრელია მომავალი მსოფლიოს როგორც ეკონომიკური, ასევე პოლიტიკური განვითარების თვალსაზრისით. აღნიშნული პრობლემის წარმატებით გადაჭრის ერთ-ერთი პერსპექტიული გზაა უახლესი ენერგოდამზოგი ტექნოლოგიების დანერგვა, არატრადიციული განახლებადი ენერჯის წყაროების გამოყენებით.

გლობალურ პრობლემებს შორის განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია ბუნებრივი რესურსების შემცირების შედეგად გამოწვეული კრიზისი და გარემოს ეკოლოგიური დაზიანება. ადამიანთა ცივილიზაციის ბედი დიდადაა დამოკიდებული იმაზე, თუ რამდენად შეძლებს კაცობრიობა პლანეტის რესურსების რაციონალურ გამოყენებას და ენერჯის განახლებადი წყაროების საფუძველზე საჭირო ენერგეტიკული ბაზის შექმნას. აღსანიშნავია, რომ მსოფლიოს მრავალ ქვეყანაში, განახლებადი წყაროების მეშვეობით გამომუშავებულ ენერჯიას გადამწყვეტი წვლილი შეაქვს ენერგეტიკის და მრეწველობის დარგების განვითარებაში. ამ ქვეყნების რიგში უნდა ჩადგეს საქართველოც, რომელსაც წიაღისეული საწვავის დიდი მარაგი არ გააჩნია, მაგრამ მდიდარია ჰიდრო, მზის და გეოთერმული წყლების რესურსებით. გამომდინარე აქედან, აუცილებელია ქვეყნის სათბობ-ენერგეტიკულ ბალანსში ენერჯის განახლებადი წყაროების მასშტაბების თანდათანობით ზრდა.

ნახ. 2.1-ზე წარმოდგენილი გრაფიკი თვალსაჩინოდ გვიჩვენებს ენერჯის დანაკარგების სიდიდეს მრეწველობაში. გრაფიკის ანალიზის საფუძველზე, რომელზეც წარმოდგენილია გაბნეული ენერჯის ტემპერატურაზე დამოკიდებულება აშშ მრეწველობაში (ნახ. 2.1), შეიძლება დავასკვნათ როცა $t < 100^{\circ}\text{C}$ ენერჯის ყოველდღიური დანაკარგია 10^{19} ჯ, რასაც შეესაბამება თბური დამაბულობის სიდიდე 317 გვტ. აღსანიშნავია, რომ სითბოს რაოდენობა, რომელიც იკარგება გამაგრებელი და ტექნიკური წყლების გამოყენების ხარჯზე (დაბალტემპერატურული სითბო),

რამდენჯერმე მეტია სითბოს იმ რაოდენობაზე, რომელიც იკარგება და გადაეცემა გარემოს სამრეწველო ღუმელებში წარმოქმნილი მაღალი ტემპერატურის მქონე წვის პროდუქტების მიერ. ცნობილია, რომ ნებისმიერი დაბალი ტემპერატურის წყაროს სითბური ენერჯის უტილიზაცია შესაძლებელია თბური ტუმბოების გამოყენებით, რაც მიუთითებს თუ როგორია ენერჯის რეზერვები დაბალტემპერატურული (100°C -მდე) ტექნოლოგიური პროცესების სფეროში.



ნახ. 2.1. სითბური ენერჯის გაბნეული ნაკადის განაწილება ტემპერატურაზე დამოკიდებულებით აშშ-ის მრეწველობაში, [143].

მილსადენურ ტრანსპორტში, ბუნებრივი აირის და ნავთობპროდუქტების აირტურბუნულ მოწყობილობებში და სპეციალურ გამათბობელ ღუმელებში დაწვისას აკუმულირდება დიდი რაოდენობის სითბური ენერჯია. მართალია აღნიშნული ტექნოლოგიები დაბალი მ.ქ.კ. გამო არაეფექტურია, მაგრამ მომავალში აუცილებელია მათი სრულყოფა.

თანამედროვე ეტაპზე, მაღალი სიბლანტის და გამყარების მაღალი ტემპერატურის ნავთობის მილსადენით ტრანსპორტირებისას ფართოდ გამოიყენება ტექნოლოგიების შემდეგი სახეები:

- „ცხელი“ გადატუმბვა;
- მილსადენის მონაკვეთებზე ორთქლით ან ელექტროენერგიით თანდათანობითი გაცხელება;
- გადატუმბვა დეპრესორული მისართების გამოყენებით, რომელთა შერევის ტემპერატურაა 50°C.

ბლანტი ნავთობის ყველა ზემოთ ჩამოთვლილი ტექნოლოგიით ტრანსპორტირებისას აუცილებელია შეთბობის პროცესის განხორციელება. ნაშრომში [85] ნაჩვენებია, რომ ნავთობის, მაზუთის ან გაზის დაწვა დაბალტემპერატურულ პროცესებში სითბოს მისაღებად არაეფექტურია.

ნავთობსადენების მოქმედ მაგისტრალებზე „ცხელი“ გადატუმბვის განხორციელების ტექნოლოგია, ნავთობის შეთბობის მიზნით, მოითხოვს ენერგოტევადი პუნქტების მშენებლობას. გადატუმბვა თანმხლები ოთქლგადახურებით მოითხოვს საქვაბე დანადგარების მშენებლობას ორთქლის პირდაპირი მიწოდებით და კონდენსატის ასაღებად საპირისპირო მილგაყვანილობით. ელექტროგამხურებელი მოწყობილობების გამოყენება კი მოითხოვს თანამდევ მონტაჟს მილსადენზე და მის კონტროლს. თითოეული ტექნოლოგია მოითხოვს მნიშვნელოვან კაპიტალურ და საექსპლუატაციო დანახარჯებს.

არატრადიციული ენერჯის ტექნოლოგიების პრაქტიკაში დანერგვა შესაძლებელია მხოლოდ იმ შემთხვევაში, როცა მათი უპირატესობა ტრადიციულ ანალოგებთან დაკავშირებულია არა მხოლოდ დანახარჯების მნიშვნელოვან შემცირებასთან, არამედ ეკოლოგიური პრობლემების მაღალ დონეზე გადაჭრასთან. უახლოეს მომავალში სწორედ ეს ფაქტორი იქნება განმსაზღვრელი ბაზარზე თბომწარმოებელი მოწყობილობების კონკურენტუნარიანი სიტუაციის ფორმირებაში.

ნავთობის გამაცხელებელი ტრადიციული მოწყობილობები შესაძლებელია შეიცვალოს თბური ტუმბოებით, რომელთა ეფექტურობა მით მაღალია, რაც დაბალია გაცხელების ტემპერატურა. რა თქმა უნდა ნავთობსადენის გასწვრივ, ტრასის

მახლობლობაში ყოველთვის არ არის განთავსებული სამრეწველო საწარმოები, რომელთა ე.წ. გაბნეული სითბო მოხმარებული იქნება როგორც გამაცხელებელი. ამიტომ აუცილებელია ვისარგებლოთ სითბოს იმ ბუნებრივი წყაროებით, რომელიც განთავსებულია მილსადენის სიახლოვეში. აღნიშნულ წყაროებს ძირითადად წარმოადგენს მზის ენერჯია და გეოთერმული წყაროები.

მრავალი მკვლევარი, კერძოდ: ე.ტ. ბარტოში, ვ.ა. ბუტუზოვი, მ.პ. ვასილიევი, ნ.ა. ბარისი, ე. გრანრიდა, კ. კლაუზერი, დ. მაკმაილა, ნ.ვ. მელაძე, ა.ვ. მარტინოვი, ვ.ს. მარტინოვსკი, დ. რეია, ბ. სანნერა, გ. ხაინრიხი, ე.ი. იანტოვცკი, ო.შ. ვეზირიშვილი თავიანთ შრომებში [18, 20, 21, 25, 5, 33, 49, 50, 70, 71, 72, 95, 96, 100, 138, 145, 147, 150, 107, 54] განიხილავენ თბური ტუმბოების მუშაობას მრეწველობის სხვადასხვა დარგებში, საცხოვრებელ თუ საზოგადოებრივ სექტორებში. სამრეწველო საწარმოებში თბური ტუმბოები ძირითადად გამოიყენება დაბალი ტემპერატურის მქონე მეორადი ენერგორესურსების სითბური ენერჯიის უტილიზაციის კუთხით.

ავტორები აბუზოვი ფ.ფ., რეპინი ვ.ვ., სავიჩევი ე.ვ. შრომებში [7, 8, 80, 85, 95, 96] განიხილავენ რეზერვუარებში ნავთობპროდუქტების გაცხელების კომპლექსურ სისტემას თბური ტუმბოების გამოყენებით, რომელშიდაც ამართქლებელ მოწყობილობას წარმოადგენს ავზი-აკუმლიატორი ჰელიომოწყობილობით.

2.1. კომპრესიული თბური ტუმბოს მუშაობის პრინციპი და ნავთობსადენებში მისი გამოყენების შესაძლებლობების დასაბუთება

მთელ რიგ ტექნოლოგიურ პროცესებში აუცილებელია სითბური ენერჯიის გადაცემა დაბალი ტემპერატურის სითბოს წყაროდან, მაღალი ტემპერატურის სითბოს წყაროზე. თერმოდინამიკის მეორე კანონის თანახმად სითბოს ასეთი გადაცემა თვითნებურად შეუძლებელია. ანალოგიურად სითბის ბუნებრივი დინება დაბალი დონიდან მაღალზე, ან რაც იგივეა, დაბალი წნევის არიდან მაღალზე შეუძლებელია

ენერჯის დახარჯვის გარეშე. სითბოს და წნევებს შორის წინააღმდეგობის დაძლევის ამოცანის გადაწყვეტა შესაძლებელია სხვადასხვა სახის ტუმბოს გამოყენებით. სითბური ენერჯის გადასაცემად გამოყენებულ ტუმბოებს „თბური ტუმბო“ ეწოდება, რომელიც სითბოს „გადატუმბვას“ უზრუნველყოფს დაბალი ტემპერატურის წყაროდან მაღალზე.

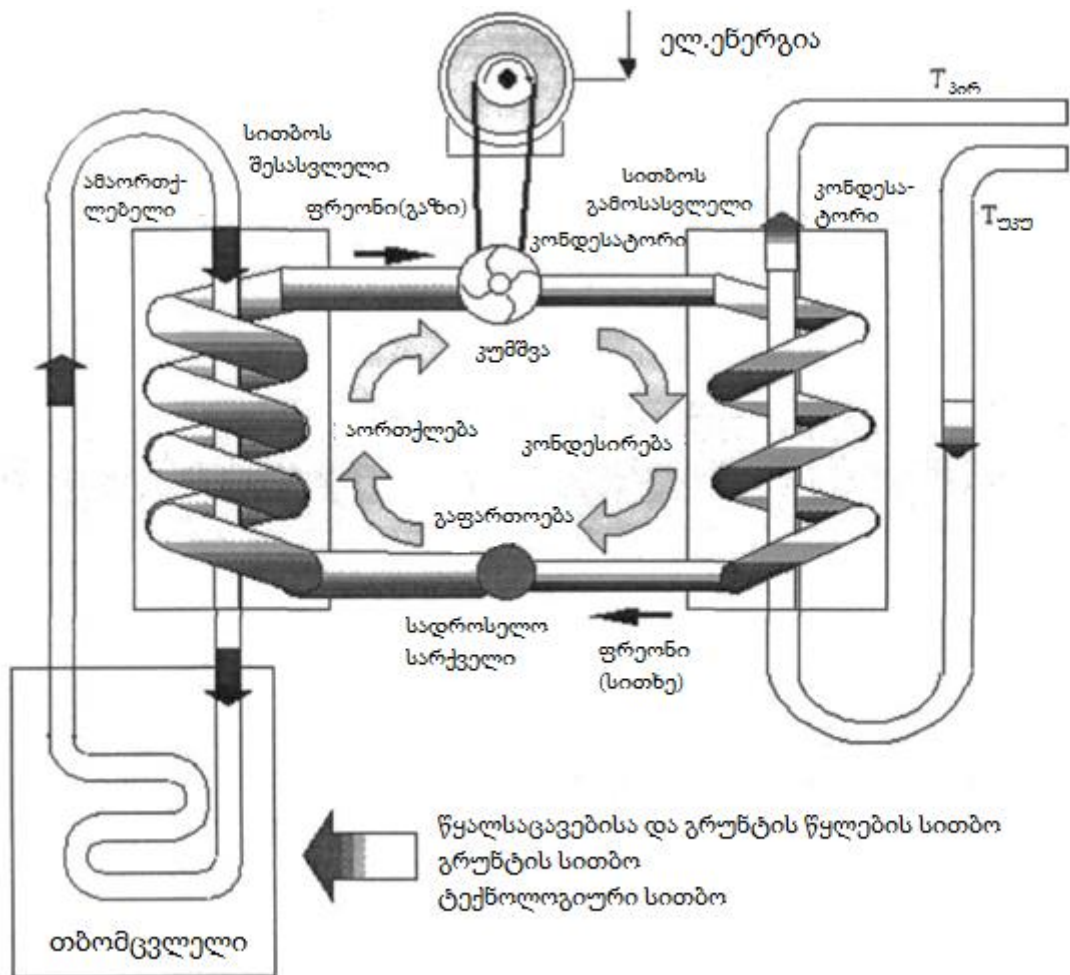
თბური ტუმბოს მუშაობის პრინციპი გამომდინარეობს კარნოს ციკლის აღწერიდან, რომელიც პრაქტიკულად განახორციელა ტომსონმა 1852 წ. სისტემას ეწოდებოდა სითბოს გამამრავლებელი და მიუთითებდა, თუ როგორ შეიძლება სამაცივრო მოწყობილობის ეფექტური გამოყენება გათბობის მიზნით [95]. ტომსონი თავის შრომებში მიუთითებდა, რომ ენერჯორესურსების შეზღუდულობა მომავალში არ მოგვცემს საშუალებას განუწყვეტლივ ვწვათ სათბობი ღუმელებში სითბოს მიღების მიზნით. იგი მიუთითებდა, რომ მის მიერ გამოგონებული სითბოს გამამრავლებელი მოიხმარს გაცილებით ნაკლებ სათბობს, ვიდრე ჩვეულებრივი ღუმელი.

ტომსონის მიერ შემოთავაზებულ თბურ ტუმბოში მუშა სხეულის სახით გამოყენებულია ჰაერი. კელვინის ციკლის მიხედვით, ჩვეულებრივი ჰაერი შეიწოვება ცილინდრში, დეტანდერში გაფართოვების გამო ცივდება და თბომცვლელში გავლით განიცდის გაცხელებას. ჰაერი ატმოსფერულ წნევამდე შეკუმშვის გამო ცილინდრიდან მიეწოდება შენობაში ჰაერის გასათბობად. ამ ტიპის მანქანის რეალიზება ფაქტიურად განხორციელდა შვეიცარიაში.

სამაცივრო მოწყობილობები განვითარდა XIX საუკუნის ბოლოს, ხოლო თბურმა ტუმბოებმა ფართო გავრცელება პოვეს XX საუკუნის ოციან წლებში მას შემდეგ, რაც ინგლისში შეიქმნა პირველი თბური ტუმბოს მოწყობილობა. 1930 წელს ხოლდეინმა აღწერა საოჯახო თბური ტუმბოს გამოცდის შედეგები, რომელიც დანიშნული იყო გათბობის და ცხელი წყლით მომარაგების მიზნით და გამოიყენებდა გარემოს ჰაერს. ამის შემდეგ სამუშაოები გაგრძელდა აშშ-ში სადემონსტრაციო საჩვენებელი დანადგარების შესაქმნელად, მაგრამ ყოველივე ეს კეთდებოდა მხოლოდ კერძო დაფინანსებით. პირველი მსხვილი თბური ტუმბოს დანადგარი ევროპაში მოქმედებაში მოვიდა ციურიხში 1938–1939 წ. მასში გამოყენებული იყო მდინარის წყლის სითბო, როტაციული კომპრესორი და მაცივებელის აგენტი. მოწყობილობის სიმძლავრე

შეადგენდა 175 მვტ, გამომუშავებული გამათბობელი წყლის ტემპერატურით 60°C . ზაფხულის პერიოდში მოწყობილობა მუშაობდა როგორც გამაგრილებელი.

თბური ტუმბოები, როგორც სითბოს ასამაღლებელი ტრანსფორმატორები, მუშაობენ შემდეგი პრინციპით: თბური ტუმბო დაბალი ტემპერატურის ბუნებრივი (მდინარე, წყალსაცავი და სხვა) წყაროდან სითბოს გადაცემს მაღალი ტემპერატურის მქონე მომხმარებელს. დაბალი ტემპერატურის წყაროდან სითბოს გადასაცემად გამოყენებულია დუდილის დაბალი ტემპერატურის მქონე თბოგადამტანები ფრეონის ან ბუნებრივი მაცივებელი აგენტების (ამიაკი, ნახშირბადის დიოქსიდი) სახით.



ნახ. 2.2. თბური ტუმბოს მუშაობის პრინციპული სქემა.

თბოგადამტანის ორთქლი (ნახ. 2.2) ამორთქლებელი მოწყობილობიდან შეიწოვება კომპრესორით და იკუმშება მაღალ წნევამდე. კომპრესორში კუმშვის გამო

ორთქლის ტემპერატურა იზრდება, რაც საშუალებას იძლევა სითბო გადავცეთ მომხმარებელს. შეკუმშული და გაცხელებული თბოგადამტანის ორთქლი მიეწოდება კონდენსატორში, სადაც მიმდინარეობს კონდენსაციის საფუძველზე სითბური ენერჯის გამოყოფა. გამოყოფილი სითბოს ართმევა ხორციელდება წყლით ან ჰაერით. გათხევადებული თბოგადამტანი კონდენსატორიდან მარეგულირებელი ონკანის (დროსელური სარქველი) გავლით ისევ ბრუნდება ამორთქლებელში, სადაც ცხელდება დუღილის მიღწევამდე დაბალტემპერატურიანი წყლის სითბოთი, რომლის დროსაც წყალი ცივდება და მიღებული სიცივე შეიძლება გამოვიყენოთ საჭიროებისამებრ.

გამომდინარე აქედან თბურ ტუმბოში ხორციელდება თბოგადამტანის წრიული ცირკულაცია, კერძოდ ბუნებრივი სითბოს გადატუმბვა ნავთობის გასაცხელებლად.

თბური ტუმბოები არსებობს: კომპრესორული, აბსორბციული და თერმოელექტრული, რომელთაგან ფართო გავრცელება ჰპოვა კომპრესორული ტიპის თბურმა ტუმბოებმა.

თანამედროვე ორთქლკომპრესორული თბური ტუმბოები სიმძლავრით 1 მვტ ზევით, აღჭურვილი არიან შემდეგი ტიპის კომპრესორებით:

- ხრახნული;
- დგუშიანი;
- ცენტრიდანული.

ნავთობმაგისტრალების ობიექტებზე დგუშიანი კომპრესორებით აღჭურვილი თბური ტუმბოების გამოყენების უარყოფითი მხარეა, დღედამის განმავლობაში მუდმივად მუშაობის შეუძლებლობა, ამიტომ ასეთი სამუშაოს შესასრულებლად მათი გამოყენება არ არის მიზანშეწონილი.

ხრახნული და ცენტრიდანული ტიპის კომპრესორიანი თბური ტუმბოების შედარებისას შეიძლება აღვნიშნოთ:

- სხვა ყველა თანაბარ პირობებში ცენტრიდანულ კომპრესორიანი სითბური ტუმბო უფრო ეფექტურია, ვიდრე ხრახნული;
- თანამედროვე თბური ტუმბოები ცენტრიდანული კომპრესორებით მუშა რეჟიმზე რამდენჯერმე სწრაფად გადიან, ვიდრე ხრახნული;

- ცენტრიდანული კომპრესორიანი თბური ტუმბოების მინიმალური მწარმოებლობა განისაზღვრება ნომინალური მწარმოებლობის 20-30%-ით.

აქედან გამომდინარე მაგისტრალურ მილსადენში გადატუმბვისას, ნავთობის გასაცხელებლად ფართოდ გამოიყენება თბური ტუმბოები ცენტრიდანული კომპრესორებით.

თბური ტუმბოები საკმაო ინტენსივობით გამოიყენებენ პრექტივიდან თბომომარაგების ტრადიციულ მეთოდებს, რომელიც ემყარება ორგანული სათბობის დაწვისას მიღებული ენერჯის მოხმარებას. მსოფლიო ენერჯეტიკული კომიტეტის პროგნოზის ტანახმად 2020 წლიდან, განვითარებულ ქვეყნებში თბომომარაგების (კომუნალური და სამრეწველო) 75% განხორციელდება თბური ტუმბოების საშუალებით.

ევროპის ცენტრალური და ჩრდილოეთის ქვეყნები, კანადასა და აშშ ერთად, კლიმატური პირობების მახასიათებლებით წარმოადგენენ დედამიწის დაბალი პოტენციალის სითბოს გამოყენების ძირითად რაიონებს. ამასთან აშშ-გან განსხვავებით ევროპის ქვეყნების ტერიტორიაზე თბური ტუმბოები ძირითადად მუშაობენ გათბობის რეჟიმზე. აშშ-ში თბური ტუმბოები საჭერო გათბობის სისტემაში გაერთიანებულია ვენტილაციასთან, რაც საშუალებას იძლევა ზოგჯერ გააცხელონ, ზოგჯერ კი გააგრილონ გარემომცველი ჰაერი. ევროპულ ქვეყნებში თბური ტუმბოები ძირითადად გამოიყენება წყლით გაგრილების სისტემაში. თბური ტუმბოების უმეტესი ნაწილი ევროპაში, რომლებიც დანიშნულიანიადაგის დაბალპოტენციალური სითბოს გამოსაყენებლად, აღჭურვილი არიან ელექტრული აძვრის კომპრესორებით [24; 25]. 1981 წელს ფრანკფურტში და მილანში მოეწყო ორი საერთაშორისო გამოფენა, სადაც რამდენიმე ათეულმა ფირმამ წარმოადგინა სხვადასხვა სახის თბური ტუმბოების მოწყობილობები გათბობის, გაგრილების და ცხელი წყალმომარაგების დანიშნულებით. თბური ტუმბოების წარმოების დასაწყისად მიღებულია 1956 წელი, როცა დამზადდა დაახლოებით 4000 ცალი ასეთი ტიპის დანადგარი. დღეისათვის თბური ტუმბოების რიცხვი ითვლის რამდენიმე მილიონ ცალს, რომელთა სიმძლავრე იცვლება 2 კვტ-დან 200 მგტ-მდე.

მაგისტრალურ ტრანსპორტზე გამოყენებული თბური ტუმბოების სიმძლავრე შეიძლება მერყეობდეს 500 კვტ-დან რამდენიმე მეგავატამდე. ასეთ სიმძლავრეებზე 1 კვტ საანგარიშო თბური სიმძლავრის ღირებულება შეადგენს 83 ამერიკულ დოლარს.

დასავლეთის წარმოების თბური ტუმბოების გამოყენებისას, მოწყობილობის ღირებულება ტრანსპორტირების ხარჯებთან ერთად არ აღემატება 200 ამერიკულ დოლარს, მაშინ როცა თბომცვლელის ღირებულება შესაძლებელია 2-ჯერ მეტი იყოს თბური ტუმბოს ღირებულებაზე.

მიუხედავად თბური ტუმბოების შედარებით მაღალი ღირებულებისა, სითბოს დაბალტემპერატურული ბუნებრივი წყაროების გამოყენება გადასატუმბი ნავთობის სიბლანტის შემცირების და მაგისტრალური ნავთობსადენის გამტარუნარიანობის გაზრდის მიზნით შეიძლება გამოირჩეოდეს ეფექტურობით.

2.2. ნავთობის ტრანსპორტირება „განაწილებული“ შეთბობით

თანამედროვე ეტაპზე, გარემოს დაცვის პრობლემა, ენერჯის ეკონომიური ხარჯვა და ბუნებრივი რესურსების რაციონალური გამოყენება მსოფლიო მნიშვნელობის ამოცანას წარმოადგენს.

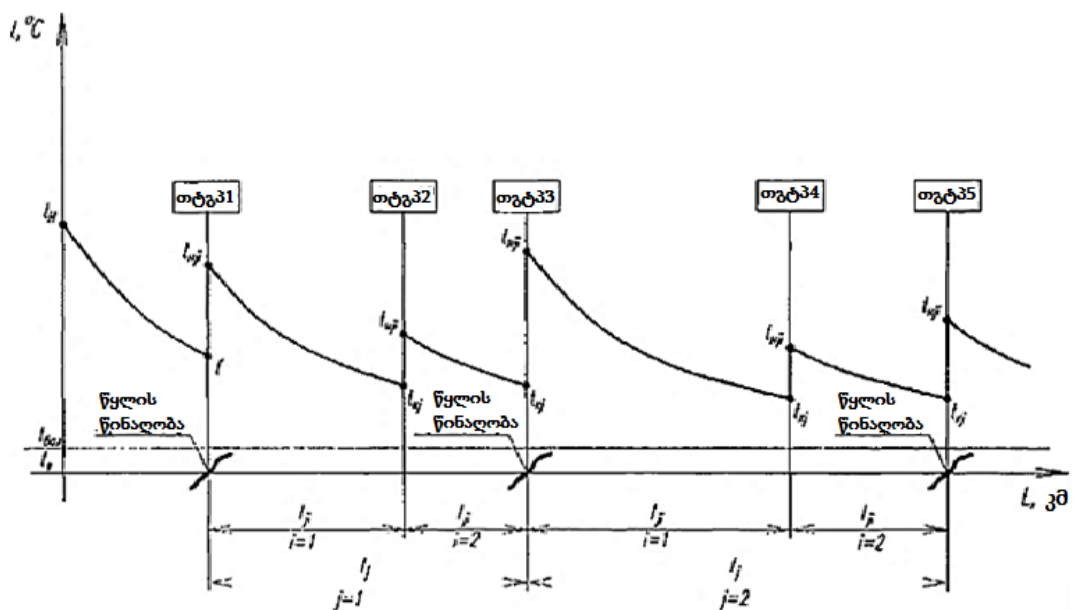
ბოლო პერიოდში შესამჩნევია მაღალი სიბლანტის და პარაფინშემცველი ნავთობის წილის ზრდა, რაც თავისთავად ცხადია იწვევს მაგისტრალურ ნავთობსადენში ჰიდრავლიკური წინააღმდეგობის ზრდას და გადატუმბვის პროცესის გაართულებას.

ნავთობის შეთბობა ამცირებს მის სიბლანტეს, რაც თავის მხრივ ამცირებს ნავთობსადენის ჰიდრავლიკურ წინააღმდეგობას, ეს კი იწვევს ნავთობის გადატუმბვაზე დახარჯული მექანიკური ენერჯის გამოსამუშავებლად საჭირო პირველადი ენერგორესურსის (გაზი, დიზელის საწვავი, ელექტროენერჯია) მოხმარების შემცირებას.

გამოკვლევები გვიჩვენებს, რომ მაგისტრალურ ნავთობსადენში ნავთობის გადატუმბვის რეჟიმი რაც უფრო ახლოსაა იზოთერმულთან, მით უფრო ეკონომიურია

განსახილველი გადატვირთვის ვარიანტი [31]. ამ დროს დანახარჯების მინიმუმი შეესაბამება იზოთერმული გადატვირთვის ვარიანტს t_{θ} ტემპერატურით, რომელიც გარემოს ტემპერატურას t_e აღემატება 3-5°C-ით [5]. ამასთან დადებით მოვლენად ითვლება ის, რომ გამოიყენება ხახუნის სითბო.

შრომებში [30, 32, 33, 34, 37, 38] დასმულია ამოცანა, მაღალი სიბლანტის ნავთობის „განაწილებული“ შეთბობით ტრანსპორტირების პროცესის დასაბუთების შესახებ, რომლის დროსაც მაგისტრალურ ნავთობსადენში გადატუმბვის ტემპერატურული რეჟიმი ახლოსაა იზოთერმულთან. აღნიშნული მეთოდი ითვალისწინებს ნავთობსადენის ტრასაზე საშუალო სიმძლავრის გამათბობელი პუნქტების გაცალკავებას და თითოეულ პუნქტში ნავთობი ცხელდება 1-7 გრადუსით. ხშირად ადგილი აქვს ნავთობსადენის მთელ სიგრძეზე ტემპერატურის ე.წ. „ხერხისებურ“ განაწილებას (ნახ. 2.3).



ნახ. 2.3. მილსადენის სიგრძეზე ტემპერატურის ცვლილება „განაწილებული“ შეთბობისას.

L_j - j მონაკვეთის სიგრძე (დაშორება ორ გამათბობელ პუნქტს შორის, რომლებიც ერთსა და იმავე დაბალტემპერატურულ სითბოს წყაროს მოიხმარენ);

l_{ji} - დაშორება ორ უახლოეს შემათბობელ პუნქტს შორის;

t_{Hj} - j -ურ უბანზე i -ურ პუნქტში შეთბობის ტემპერატურა;

t_H - მილსადენში გადატუმბული ნავთობის ტემპერატურა;

t_{Kj} - j -ური მონაკვეთის გამათბობლის შესასვლელზე ტემპერატურა;

t_{air} - გადატუმბვის ბალანსური ტემპერატურა;

t_e - გრუნტის ტემპერატურა მილსადენის ღერძის სიღრმეზე.

ბლანტი პლასტიკური ნავთობის გადატუმბვისას შუალედურ პუნქტებში გაცხელება ხორციელდება დნობის ტემპერატურაზე მეტ ტემპერატურამდე, კერძოდ იმ ტემპერატურამდე, რომელზედაც მიიღწევა ძვრის ზღვრული დამაბულობა.

„განაწილებული“ შეთბობის პროცესის რეალიზაციისას განვიხილავთ თბურ სადგურებში დაბალი სიმძლავრის თბური ტუმბოების გამოყენების შესაზღვებლობას [39, 34, 30, 38, 23, 31, 36, 46]. ორთქლკომპრესორული თბური ტუმბოების აძვრისათვის გამოიყენება ელექტროენერგია. ამასთან შესაძლებელია მათი როგორც ელექტროქსელში ჩართვა, ასევე ინდივიდუალური ელექტროუზრუნველყოფა.

ელექტროენერგიის გამომუშავებისას, თანამედროვე თბოელექტროსადგურების მ.ქ.კ. 40%-ზე დაბალია. ამასთან ელექტრული ენერგიის ტარიფი წარმოადგენს ისეთი ძირითადი მაჩვენებლების ჯამს, როგორცაა ტარიფი ელექტროენერგიის წარმოებაზე და გადაცემასა და განაწილებაზე. ეს კი შეადგენს სრული ტარიფის 70%. [72].

განვიხილოთ ენერგოუზრუნველყოფის ავტონომიური სისტემის შექმნის შესაძლებლობა. როგორც ცნობილია ნავთობსადენი წარმოადგენს სითბოს მომხმარებელს, ხოლო თბური ტუმბო - ელექტროენერგიისას. მოცემულ შემთხვევაში აუცილებელია ორივე სახის ენერგიის ერთდროული გენერაცია, ამიტომ შუალედური შეთბობის პუნქტებში შესაძლებელია მინიელექტროსადგურების მოწყობილობების შექმნა. შედეგად მიიღება კომბინირებული დანადგარი, რომლის შემადგენლობაშია თბური ტუმბო და მინითბოელექტროსადგურები.

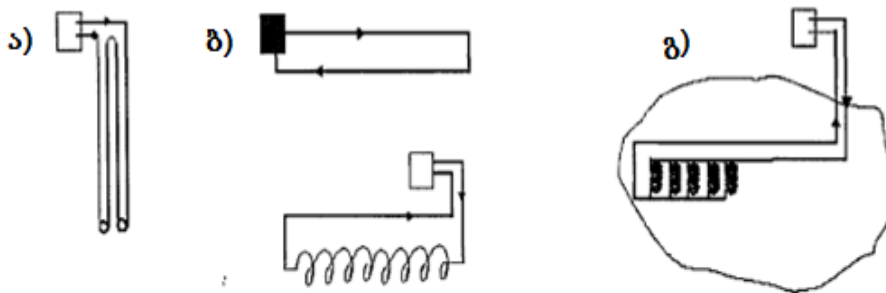
კოგენერაციული მოწყობილობა ერთდროულად გამოიმუშავებს ორი სახის ენერგიას და მისი ჯამური მქკ-ია 90%, ამასთან არ არსებობს ხარჯები დისპეტჩერიზაციასა და ენერგიის მიწოდებაზე.

კოგენერაციული მოწყობილობის თბურ ტუმბოსთან ერთად მუშაობისას, თბური ენერგია ნაწილდება ნავთობის შეთბობით და ელექტროენერგიის სახით თბური ტუმბოს, ცირკულაციური ტუმბოს და ვენტილატორის აძვრაზე. ნავთობის შეთბობის პირველ ეტაპზე გამოიყენება ბუნებრივი წყაროს (გრუნტი, მდინარე, ტბა, ზღვის წყალი)

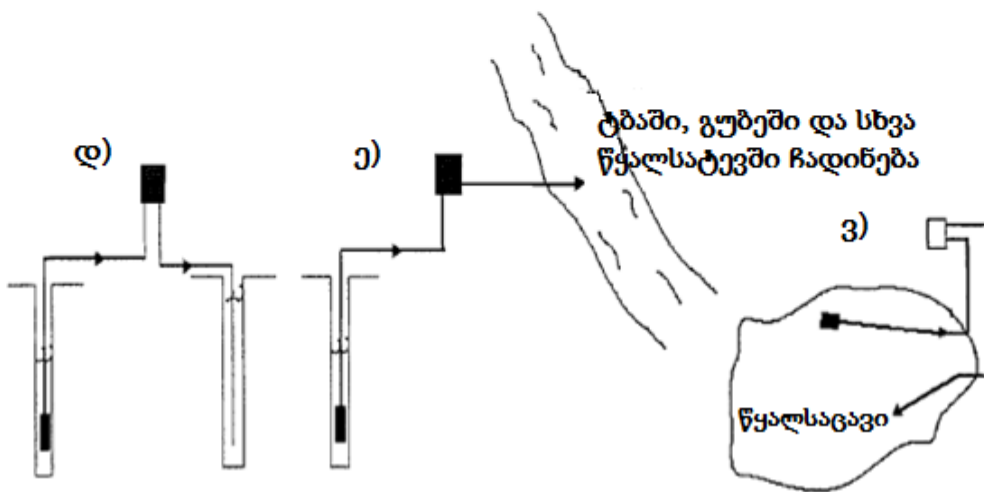
დაბალი პოტენციალის სითბო, რომელიც შემდეგ ტრანსფორმირდება თბურ ტუმბოში უფრო მაღალი პოტენციალის სითბოს წყაროდ.

პრაქტიკული რეალიზაციისათვის თბურ ტუმბოებს გააჩნიათ მნიშვნელოვანი მოთხოვნები სითბოს დაბალი ტემპერატურის წყაროს და გარე კონტურის შეთანწყობის მიმართ (სურ. 2.4). გრუნტიდან სითბოს ამრთმევი სპეციალური გარე კონტურის მოწყობილობის კაპიტალური დანახარჯები აღემატება წყლის სითბოს წყაროების დანახარჯებს, ამიტომ მიზანშეწონილია მეთობის ცენტრების განლაგება ამ უკანასკნელის მახლობლობაში. თუ გამოვიყენებთ მხოლოდ სითბოს დაბალტემპერატურული წყლის წყაროებს, შეუძლებელია მილსადენის მთელ სიგრძეზე ტემპერატურის განაწილება იზოთერმულად, ამიტომ დამატებით იყენებენ გრუნტის ენერგიაზე მომუშავე თბომცვლელებს.

თბურტუმბოიანი დანადგარის, როგორც დახურული სისტემის, გარე კონტური



თბურტუმბოიანი დანადგარის, როგორც ღია სისტემის, გარე კონტური



ნახ. 2.4. თბური ტუმბოს დანადგარის გარე კონტურის სახეები.

- ა), ბ) გ) - „გრუნტი-წყალი“ სახის ვერტიკალური, ჰორიზონტალური, სპირალური თბომცვლელები;
- დ), ე) - გრუნტის წყლების დაბალტემპერატურული სითბოს წყაროს გარე კონტური;
- ვ) - ზედაპირული წყლების დაბალტემპერატურული სითბოს წყაროს გარე კონტური.

შეთბობის პუნქტებში, სადაც პირველ წყაროდ გამოიყენება გრუნტის სითბო, დამატებით აყენებენ ვენტილიატორულ თბომცვლელს. ეს გადაწყვეტილება საშუალებას იძლევა შემცირდეს გრუნტი-თბომცვლელი სისტემის მდგრად რეჟიმზე გასვლის დრო, რაც მიიღწევა გრუნტის ენერჯის აკუმულირების ხარჯზე. ატმოსფერული ჰაერის დადებითი ტემპერატურისას, გრუნტთან ერთად სითბოს პირველად წყაროდ გამოიყენება ჰაერი. ატმოსფერული ჰაერის მაღალი ტემპერატურის პირობებში (15-20° და მეტი) შეიძლება ვისარგებლოთ მხოლოდ ატმოსფერული ჰაერის ენერჯით.

შემოთავაზებული მეთოდი უზრუნველყოფს მაღალი სიბლანტის ნავთობის ტრანსპორტირებას ენერგოდამზოგი და ეკოლოგიურად სუფთა ტექნოლოგიით. იგი ერთმანეთთან აერთიანებს ნავთობის შეთბობის ლოკალურ და გლობალურ (მილსადენის მთელ სიგრძეზე) ხერხებს. ამასთან მიმდინარეობს გაზსადენის მეორადი ენერგორესურსების გამოყენება მაღალი სიბლანტის ნავთობის და ნავთობპროდუქტების სიბლანტის შემცირების მიზნით, რაც ეფექტურად მოქმედებს ტრანსპორტირების პროცესზე (პატენტი RU2171424, F17D1/18, 06.09.1999).

2.3. ბუნებრივ სითბურ ენერჯიაზე მომუშავე თბოგადამტუბი პუნქტების თბური სიმძლავრის განსაზღვრა

თბური ტუმბოები გამოიყენებენ დაბალი ტემპერატურის (ბუნებრივი) სითბოს წყაროს და მათი მუშაობა მით უფრო ეფექტურია, რაც მცირეა ტემპერატურის ვარდნა კონდენსატორსა (t_c) და ამორთქლებელში (t_s), ამიტომ ეფექტი იქნება უფრო მეტი, თუ

მათ განვალაგებთ მილსადენის დაბალტემპერატურულ უბნებზე. თბური ტუმბოების განლაგების ასეთ ვარიანტს გააჩნია შემდეგი უპირატესობები:

1. მაგისტრალური ნავთობსადენის ექსპლუატაცია შედარებით დაბალი ტემპერატურის პირობებში მიმდინარეობს ძირითადად ხახუნის სითბოს გავლენით;
2. დაბალი ტემპერატურული დაწნევისას თბოცვლა გარემოსთან ნაკლებადინტენსიურია, ხოლო თბური დანაკარგები მინიმალური;
3. რადგან გრუნტიდან ართმეული სითბური ენერგია უბრუნდება ისევ გრუნტს და ატმოსფეროს ფაქტიურად არ გადაეცემა, ამიტომ დედამიწის ზედაპირზე თბური ბალანსი თითქმის ნულის ტოლია და გრუნტზე თბური ზემოქმედება მინიმალურია. თბოცვლის ასეთი მინიმალიზაცია სრულად შეესაბამება ეკოლოგიური უსაფრთხოების მოთხოვნებს.

გრუნტის თბური წონასწორობის რადიაციულ-თბური ბალანსის განტოლება წარმოადგენს ზედაპირზე მიწოდებული და ართმეული სითბური ენერგიების ტოლობას [57].

$$q_n = q_p + q_{ucm} - q_{cm} - q_{\pi} - q_{\kappa} - q_u, \quad (2.1)$$

სადაც q_n - თბური ნაკადია ნიადაგის ზედაპირზე;

q_p - მზის რადიაციის ნაკადია;

q_{ucm} - სითბოს წყაროა (მაგისტრალური ნავთობსადენი);

q_{cm} - თბოგადამტუმბ პუნქტში თბომცვლელიდან გამოყოფილი სითბოა;

q_{π} - ზედაპირიდან გამოსხივებით მიღებული თბური ნაკადია;

q_{κ} - კონვექტიური ნაკადია ზედაპირიდან ჰაერზე;

q_u - აორთქლებისას გამოყოფილი თბური ნაკადია.

რადგან სითბოს წყაროდან ნაკადი q_{ucm} დაბალი ტემპერატურის მქონეა და ნაწილობრივ კომპენსირდება გამოყოფილი სითბოთი, ამიტომ ნიადაგზე თბური ნაკადი q_n „განაწილებული“ გათბობისას გაცილებით ნაკლებია, ვიდრე „ცხელი“ გადატუმბვის შემთხვევაში.

რადგან თბურ სადგურებს შორის მანძილი ბევრად ნაკლებია, ვიდრე ნავთობსადენის და დაბალი ტემპერატურის მქონე სითბოს ბუნებრივი წყაროები

ტრასაზე განლაგებულია არათანაბრად, ამიტომ შემათბობელი პუნქტები ტიპი „წყალი-წყალი“ მოცემულია თავიდანვე, ე.ი. ვთვლით, რომ შეთბობის პუნქტებს შორის მანძილი l_j თავიდანვე მოცემულია (სურ. 2.3).

თბოგადამტუმბი პუნქტის პროექტირებისას პირველი ეტაპის ამოცანაა მისი თბური სიმძლავრის განსაზღვრა, რისთვისაც არსებობს ორი სხვადასხვა ხერხი: 1) სიმძლავრის განსაზღვრა მაგისტრალური ნავთობსადენის დაპროექტების სტადიაში; 2) მოქმედი მაგისტრალური ნავთობსადენის რეკონსტრუქციის ეტაპზე სიმძლავრის განსაზღვრა.

მოცემულ სამუშაოში განხილულია მეორე მეთოდი. ამოცანის გადაჭრის მიზნით გამოყენებულია სიმძლავრის განსაზღვრის გრაფიკული მეთოდი. თბოგადამტუმბი სადგურის სიმძლავრის განსაზღვრა ხდება იმ პირობიდან გამომდინარე, რომ დანახარჯები იყოს ოპტიმალური მოქმედი მაგისტრალური ნავთობსადენის რეკონსტრუქციისას, მისი გამტარებლობის გაზრდის მიზნით.

დანახარჯები ნავთობის გადატუმბვაზე, როცა სრულდება ტოლობა $v_{cp}, t_{cp} = const$, წარმოადგენს სრული დანახარჯების უცვლელ ნაწილს და შედარებითი ანალიზის დროს განვსაზღვრავთ ფორმულით

$$\exists = \sum_{\gamma=0}^N (K_{\gamma} + S_{\gamma}) \cdot \frac{I}{(I+E)^{\gamma}} \quad (2.2)$$

სადაც S_{γ} - საექსპლუატაციო დანახარჯებია დროის γ ინტერვალით;

K_{γ} - კაპიტალდაბანდება დროის γ ინტერვალში;

E - დისკონტირების კოეფიციენტი.

სიზუსტის საკმარისი ხარისხით შეიძლება ჩავთვალოთ, რომ როგორც კაპიტალური, ასევე საექსპლუატაციო ხარჯები თბური ტუმბოს სიმძლავრის პროპორციულია და პროპორციულობის კოეფიციენტებია შესაბამისად K და S . ვთქვათ k_{ji} და s_{ji} არის ერთეულ სიმძლავრეზე მოსული დანახარჯები i პუნქტის j მონაკვეთზე (სურ. 2.3), მაშინ სრული დისკონტირებული დანახარჯი, ანუ თბომცვლელში ნავთობის 1°C -ით გასათბობად დანახარჯი ფულად ერთეულებში იანგარიშება ფორმულით:

$$\exists_{ji} = Q \cdot \rho \cdot c_{\rho} \cdot \sum_{\gamma=0}^N (k_{ji\gamma} + s_{ji\gamma}) \cdot \frac{I}{(I+E)^{\gamma}}, \quad (2.3)$$

სადაც Q - ნავთობის მოცემული ხარჯია;

ρ - ნავთობის სიმკვრივე;

c_p - ნავთობის სითბოტევადობა.

სრული დისკონტირებული დანახარჯები იანგარიშება ფორმულით:

$$\vartheta = \sum_{j=1}^I \vartheta_j , \quad (2.4)$$

სადაც ϑ_j - სრული დისკონტირებული დანახარჯებია გაცხელებაზე j უბანზე γ წლის ექსპლუატაციისას.

$$\vartheta_j = \sum_{i=1}^I \vartheta_{ji} \cdot \Delta t_{ji} , \quad (2.5)$$

სადაც $\Delta t_{ji} = t_{Hji} - t_{kj}$.

მიზნობრივი ფუნქციის (2.4) მინიმუმი მიიღწევა იმ შემთხვევაში, როცა შეთბობაზე დანახარჯების ნებისმიერი შემცირება j უბანზე გამოიწვევს დანაკარგების გაზრდას მოცემულ უბანზე. აღნიშნულის კომპენსაციის მიზნით აუცილებელია დანაკარგების შემცირება ნებისმიერ სხვა უბანზე, რისთვისაც საჭირო იქნება დიდი დანახარჯები. უკანასკნელი მტკიცებულება შესრულდება, თუ თითოეულ უბანზე დაწნევის დანაკარგების კერძო წარმოებული დანახარჯების მიხედვით იქნება ტოლი, ე.ი.

$$\frac{\partial h_j}{\partial \vartheta_j} = const$$

სრული დისკონტირებული დანახარჯები j უბანზე ϑ_j განისაზღვრება ტემპერატურული რეჟიმით ამ უბანზე, რადგან ნავთობსადენის ჰიდრაულიკური დანაკარგები h_j დამოკიდებულია ტემპერატურულ რეჟიმზე. ე.ი. იმისთვის რომ განვსაზღვროთ ϑ_j აუცილებელია ვიცოდეთ შეთბობის ტემპერატურული რეჟიმი.

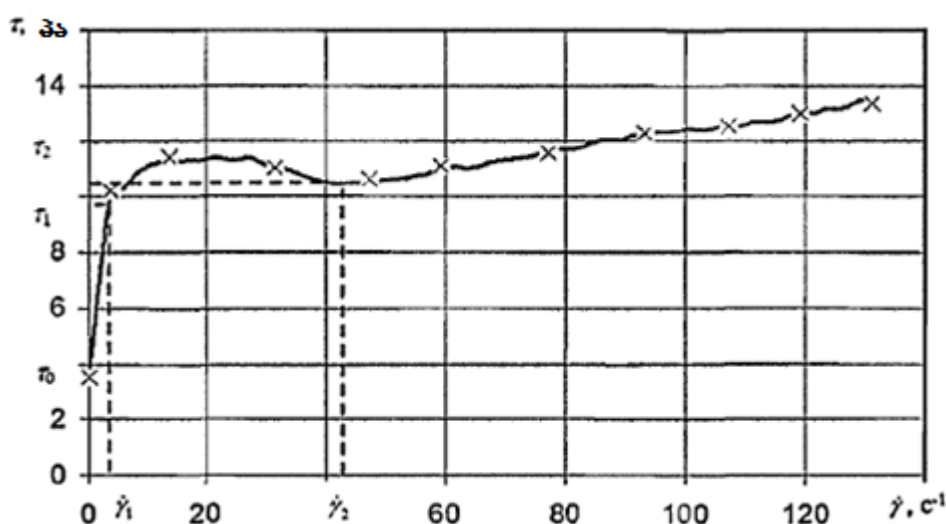
2.4. მილსადენში ნავთობის ნაკადის თბოცვლის პროცესის მათემატიკური

მოდელი

მაღალი სიბლანტის ნავთობის თვისების წინასწარი ექსპერიმენტალური კვლევა როტაციული ვისკოზიმეტრის გამოყენებით მოცემულია ნახ. 2.5-ზე. დიაგრამიდან ჩანს,

რომ მოცემული სითხე ზღვრული ტემპერატურის მიღწევის შემდეგ მიეკუთვნება ბლანტ პლასტიკურ სითხეებს. ექსპერიმენტალური მონაცემები დამუშავდა ბალკინ-გერშელის მეთოდით და მიღებული რეოლოგიური მრუდები გვიჩვენებენ კარგ შეთანწყობას თეორიულთან.

წინასწარი ექსპერიმენტალური გამოკვლევების შედეგები გვიჩვენებს, რომ ნავთობი, რომლის ტემპერატურა 20°C მეტია დინების დროს ავლენს ნიუტონისეული სითხეების თვისებას, ხოლო 20°C ზევით ნავთობის მოძრაობის ხასიათი იცვლება: ნავთობი იწყებს მოძრაობას მაშინ, როცა მასზე მოქმედებს ძვრის საწყისი დამაბულობის ტოლი დატვირთვა, ე.ი. სითხე ავლენს არანიუტონისეული სითხეების თვისებებს. ამ მოდელის საფუძველია ბალკინ-გერშელის განტოლება, ან რაც იგივეა - ნავთობის სტრუქტურულ სიბლანტეს განსაზღვრავს სისტემის კონსისტენტურობის მაჩვენებელი.



ნახ. 2.5. მაღალი სიბლანტის ნავთობის დინების რეოლოგიური მრუდები.

მილსადენის ჰიდრავლიკური წინააღმდეგობის გაანგარიშება იმ მიზნით, რომ განვსაზღვროთ თბური და ჰიდრავლიკური დანაკარგები, ემყარება მილსადენის განიკვეთში საშუალო სიჩქარის და ტემპერატურის განსაზღვრას. გაანგარიშებისას საშუალო სიჩქარის გათვალისწინება სამართლიანია ტურბულენტური დინების რეჟიმისათვის, ხოლო ლამინარული დინებისას გაანგარიშების იგივე მეთოდი იძლევა მნიშვნელოვან შეცდომებს [85].

მილსადენისათვის გამშვები და სტაციონალური წნევის და უსაფრთხო შეჩერების დროის განსაზღვრა შრომატევადი ამოცანაა, რადგან მილსადენის განიკვეთში ტემპერატურის და სიჩქარის საშუალო მნიშვნელობების გათვალისწინება წინა ამოცანისაგან განსხვავებით ამ შემთხვევაში მიუღებელია. სითხის ნაკადის ტემპერატურის შემცირება, განსაკუთრებით მილსადენის კედლებთან, იწვევს ისეთი ზონების წარმოქმნას, სადაც ნაკადის სიჩქარე ნულის ტოლია, რადგან ნავთობის ერთ-ერთი რეოლოგიური მახასიათებელია მაღალი სიბლანტის შემთხვევაში, დაბალ ტემპერატურაზე ძვრის ზღვრული დამაბულობის წარმოქმნა. ასეთ შემთხვევაში შეიძლება ვილაპარაკოთ მილსადენის განიკვეთში ნაკადის საშუალო სიჩქარესა და ტემპერატურაზე.

ანომალური სითხეების მილსადენებსა და არხებში დინების, ჰიდრავლიკური და თბოცვლის პროცესების თეორიული კვლევა, საშუალებას იძლევა საკმაო სიზუსტით ავაგოთ მილსადენის მუშაობის სტაციონალური და არასტაციონალური რეჟიმების მათემატიკური მოდელი მკვეთრი რეოლოგიური მახასიათებლების სითხეებისათვის, გარემოსთან თბოცვლის სხვადასხვა პირობებისათვის.

მილსადენში მაღალი სიბლანტის ნავთობის ნაკადსა და გარემომცველ გარემოს შორის, თბოცვლის პროცესის მათემატიკური მოდელი წარმოადგენს თბოგამტარიანობის, მოძრაობის და უწყვეტობის არაწრფივი დიფერენციალური განტოლებების სისტემას.

$$\begin{cases} \rho c_p \left(w_x \frac{\partial T}{\partial x} + w_y \frac{\partial T}{\partial y} + w_z \frac{\partial T}{\partial z} \right) = \lambda_N \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) + \mu S; \\ \rho \left(w_x \frac{\partial w_z}{\partial x} + w_y \frac{\partial w_y}{\partial y} + w_z \frac{\partial w_z}{\partial z} \right) = -\frac{\partial p}{\partial z} + \left(\frac{\partial^2 (\mu w_x)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 (\mu w_y)}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 (\mu w_z)}{\partial z^2} \right) + \rho g_z; \\ \frac{\partial (\rho w_x)}{\partial x} + \frac{\partial (\rho w_y)}{\partial y} + \frac{\partial (\rho w_z)}{\partial z} = 0. \end{cases} \quad (2.6)$$

სადაც ρ - ნავთობის სიმკვრივეა; c_p - ნავთობის სითბოტევადობაა; w_x, w_y, w_z - სიჩქარის ვექტორის გეგმილება მართკუთხა კოორდინატთა სისტემის ღერძებზე; λ_N - ნავთობის თბოგამტარიანობის კოეფიციენტი; μS - რელეის დისიპატიური ფუნქციის Φ მნიშვნელობა, როცა $\text{div} W = 0$ [89]. გარე ძალებით შექმნილი გრავიტაციის გამო ფორმულაში გათვალისწინებულია მდგენელი ρg_z .

ნაშრომში [68] ა.ვ.ლიკოვი ფურიე-კირგხოფის განტოლებას წარმოადგენს უფრო სრულყოფილი სახით, რომელშიც გათვალისწინებულია: ფაზური და ქიმიური გარდაქმნებისას ჩამოყალიბებული სითბოს წყაროები; წნევის ძალების მუშაობა; სითბოს გადატანა მასის დიფუზიური გადატანის შედეგად; გარე ძალების მუშაობა შესრულებული მასის დიფუზიური გადატანის შედეგად. სითბოგამტარობის განტოლება სითბის დინებისას დისიპაციის გარეშე მოცემულია შრომებში [45; 78].

განტოლებათა სისტემა (2.6) ცილინდრულ კოორდინატთა სისტემაში, ცენტრიდანული და კორიოლისის ძალების გათვალისწინების გარეშე, ჩაიწერება შემდეგი სახით:

$$\left\{ \begin{array}{l} \rho c_p \left(w_r \frac{\partial T}{\partial r} + \frac{w_\varphi}{r} \frac{\partial T}{\partial \varphi} + w_z \frac{\partial T}{\partial z} \right) = \lambda \left(\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial T}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 T}{\partial \varphi^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) + \\ 2\mu \left(\left(\frac{\partial w_r}{\partial r} \right)^2 + \left(\frac{1}{r} \left(\frac{\partial w_\varphi}{\partial \varphi} + w_r \right) \right)^2 + \left(\frac{\partial w_z}{\partial z} \right)^2 \right) + \\ + \mu \left(\left(\frac{\partial w_\varphi}{\partial z} + \frac{1}{r} \frac{\partial w_z}{\partial \varphi} \right)^2 + \left(\frac{\partial w_z}{\partial r} + \frac{\partial w_r}{\partial z} \right)^2 + \left(\frac{1}{r} \frac{\partial w_r}{\partial \varphi} + r \frac{\partial}{\partial r} \left(\frac{w_\varphi}{r} \right) \right)^2 \right); \\ \rho \left(w_r \frac{\partial w_z}{\partial r} + w_z \frac{\partial w_z}{\partial z} \right) = - \frac{\partial p}{\partial z} + \left(\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(\mu r \frac{\partial w_z}{\partial r} \right) + \frac{\partial^2 (\mu w_z)}{\partial z^2} \right) + \rho g_z; \\ \frac{\partial (\rho w_z)}{\partial z} + \frac{\partial (\rho w_r)}{\partial r} + \frac{1}{r} \frac{\partial (\rho w_\varphi)}{\partial \varphi} + \rho \frac{w_r}{r} = 0. \end{array} \right. \quad (2.7)$$

ნაშრომის [89] საფუძველზე თუ სიჩქარის ცვლილებას r და φ კოორდინატის მიმართ უგულველყოფთ მივიღებთ:

$$\left\{ \begin{array}{l} w_z \frac{\partial T}{\partial z} = \frac{\lambda}{\rho c_p} \left(\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial T}{\partial r} \right) + \frac{1}{r} \frac{\partial^2 T}{\partial \varphi^2} \right) + \frac{\mu}{\rho c_p} \left(\frac{\partial w_z}{\partial r} \right)^2; \\ \left(\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(\mu r \frac{\partial w_z}{\partial r} \right) \right) = \frac{\partial p}{\partial z}; \\ \frac{\partial (\rho w_z)}{\partial z} = 0. \end{array} \right. \quad (2.8)$$

ნავიე-სტოქსის განტოლებები სისტემაში (2.8) იგივეა, რაც პუასონის განტოლებები [26] ცილინდრულ კოორდინატთა სისტემაში, ჩაწერილი მაღალი სიბლანტის ნავთობის მილსადენში მოძრაობის შემთხვევისათვის.

მილსადენში მოძრავი ნავთობი გარემომცველ გარემოს გადასცემს სითბოს გამყოფი კედლის საშუალებით, ამიტომ აუცილებელია მესამე რიგის სასაზღვრო პირობების გათვალისწინება. მუდმივი ტემპერატურის სახით T_c წარმოვადგინოთ მილსადენის

კედლის ტემპერატურა, რომელიც შემდგომი გაანგარიშებისას შეიძლება ჩავთვალოთ როგორც ცნობილი სიდიდე. საწყისი სასაზღვრო პირობების თანახმად

$$T|_{z=0} = T_0, \quad (2.9)$$

$$\left. \frac{\partial T}{\partial r} \right|_{r=0} = 0, \quad (2.10)$$

$$\left. \frac{\partial T}{\partial r} + \frac{Bi}{r_0} (T - T_c) \right|_{r=r_0} = 0, \quad (2.11)$$

$$w_z|_{r=r_0} = 0, \quad (2.12)$$

$$\left. \frac{\partial w_z}{\partial r} \right|_{r=0} = 0. \quad (2.13)$$

სადაც $Bi = \frac{\alpha_2 r_0}{\lambda}$ - ბიოს უგანზომილებო პარამეტრია; r_0 - მილსადენის რადიუსია; α_2 - ნავთობსადენის მილის კედლებიდან გარემოზე თბოგადაცემის კოეფიციენტი.

თბოგამტარობის განტოლება (2.8) ჩაწერილია ჰიდროდინამიკურად სრულყოფილი ნაკადისათვის, რომელშიაც ნაწილაკები მოძრაობენ სითხის ლოკალური სიჩქარით. ეს საშუალებას იძლევა შექმნათ ისეთი მოდელი, რომელშიც ნავთობი წარმოდგენილია როგორც მომატებული სიმკვრივის ფიქტიური სითხე, რომელშიაც თბოგამტარობით გავრცელებული სითბო კონვექტორთან შედარებით გაცილებით ნაკლებია [102; 103].

მაღალი სიბლანტის ნავთობის მოძრაობისას სიჩქარის პროფილი w_z პარაბოლის ფორმისაა, ამიტომ დამოკიდებულებას აქვს სახე:

$$w_z = 2w_{cp} \left(1 - \frac{r^2}{r_0^2} \right),$$

სადაც w_{cp} - განიკვეთში საშუალო სიჩქარეა; r_0 - მილსადენის რადიუსია.

სხვადასხვა ნაკადის სიჩქარის პროფილების დამუშავებით შესაძლებელია ვიპოვოთ სიჩქარის დამოკიდებულება ψ კუთხეზე [107], რომელიც წარმოადგენს ცილინდრულ კოორდინატს. თუ პოლარულ ღერძს გადავიტანთ ვერტიკალურად და კუთხეს ψ ავითვლით საათის ისრის მიმართულებით 0-დან π -მდე, მაშინ აღმოჩნდება, რომ დამოკიდებულება კუთხის მიხედვით მიიღებს ფუნქციის $\cos(\psi/m)$ სახეს, სადაც m - ექსპერიმენტით განსაზღვრული მუდმივაა.

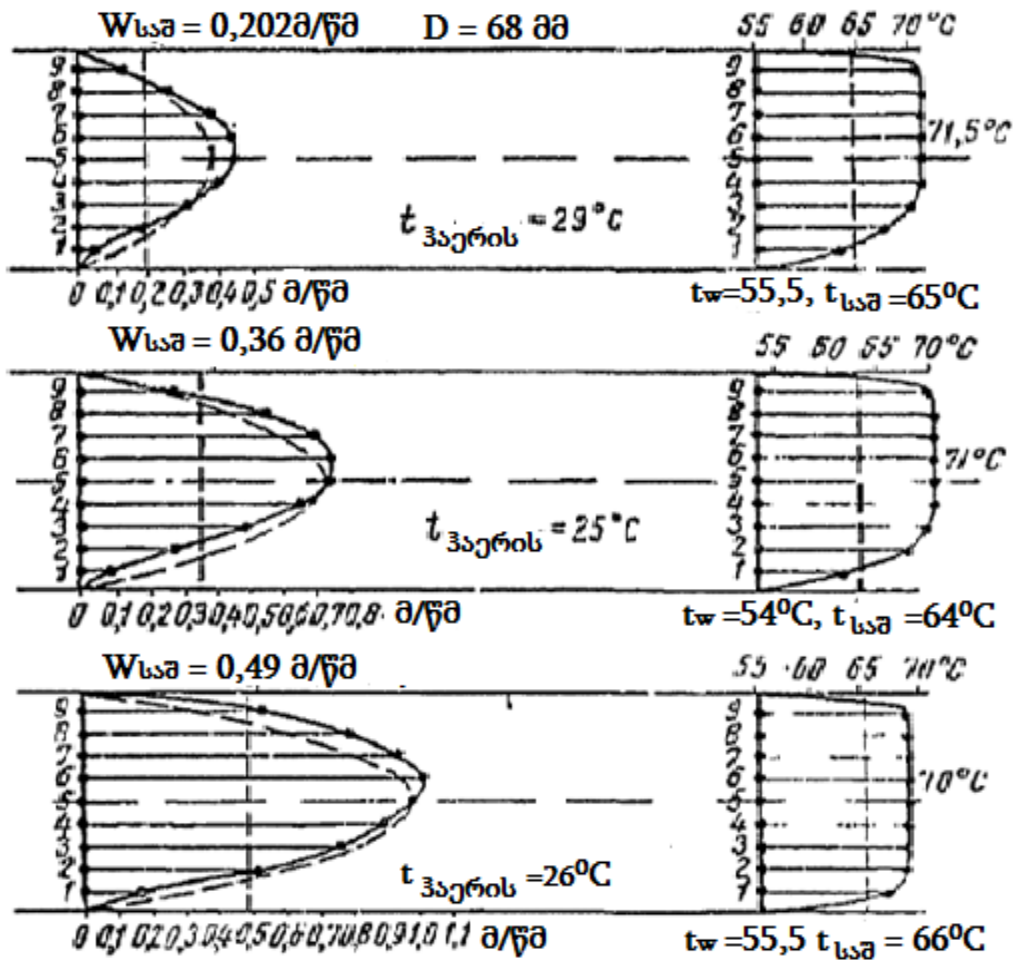
ნაშრომში [51, 52, 82] წარმოდგენილი ექსპერიმენტალური მონაცემების დამუშავების საფუძველზე სიდიდე $m = 3$. ზემოთაღნიშნულიდან გამომდინარე ნაკადის სიჩქარის პროფილი მიიღებს სახეს:

$$w_z = 2w_{cp} \left(1 - \frac{r^2}{r_0^2}\right) \cos \frac{\psi}{3}, \quad (2.14)$$

სადაც ψ კუთხე იცვლება 0-დან 180° ზღვრებში.

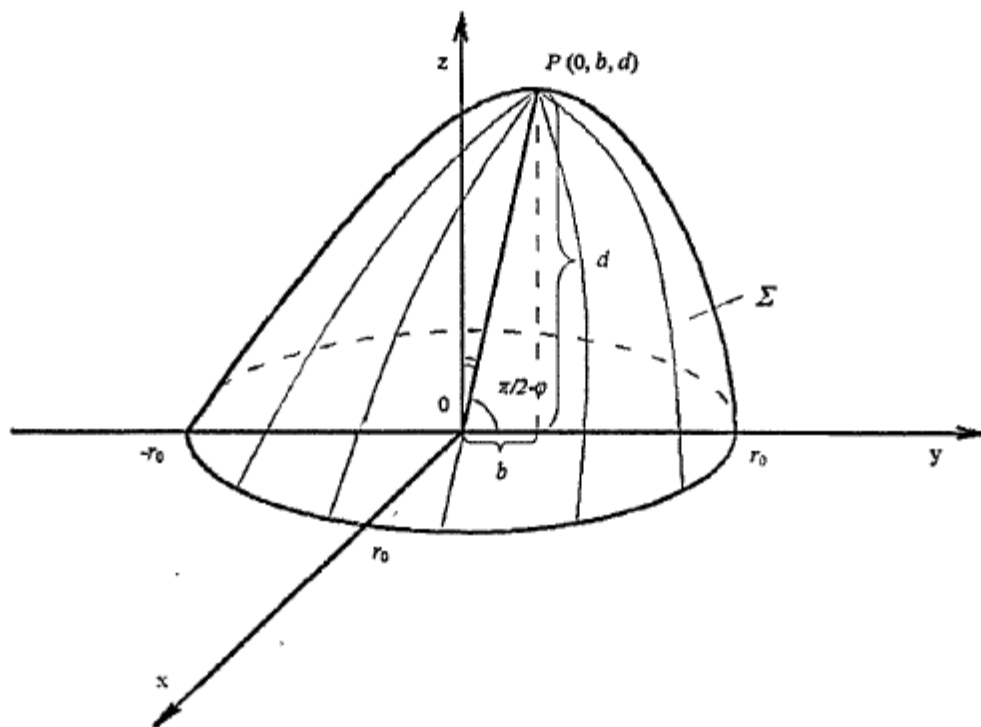
მილსადენში ნავთობის სიჩქარის განაწილება ანალოგიურია ვ.ი.ჩერნიკოვის მიერ ექსპერიმენტალურად მიღებული სიჩქარის პროფილის და მოცემულია ნახაზზე 2.6 [129]. სიჩქარის პროფილის ასაგებად ვიღებთ შემდეგ დამოკიდებულებას:

$$w_z = 2w_{cp} \left(1 - \frac{r^2}{r_0^2}\right) K. \quad (2.15)$$



ნახ. 2.6. ტემპერატურის განაწილება ნავთობსადენის ვერტიკალური დიამეტრის მიხედვით $D = 68$ მმ [129].

K კოეფიციენტის მნიშვნელობის გამოსათვლელად ვსარგებლობთ ლაგრანჟის მეთოდით (ნახ. 2.7).



ნახ. 2.7. სიჩქარის პროფილი ნაკადის დინამიკური ღერძის წანაცვლების გათვალისწინებით.

ვთქვათ მოცემულია Σ ზედაპირი, რომელიც ჩაწერილია განტოლებით:

$$x^2 + y^2 + 2Fyz + Az = r_0^2,$$

სადაც A, F - კოეფიციენტებია; b - ნავთობის ნაკადის დინამიკური ღერძის წანაცვლება; d - კოორდინატა, რომლის ფიზიკური არსია - ნავთობის ნაკადის საშუალო სიჩქარე. ასევე ცნობილია, რომ $P(0, b, d) \in \Sigma$, საიდანაც გამომდინარეობს რომ $b^2 + 2Fbd + Ad = r_0^2$.

მოცემული პირობის თანახმად $OP^2 = \max(y^2 + z^2)$, რის საფუძველზეც ლაგრანჟის ფორმულას აქვს სახე

$$L(x, y, \lambda) = y^2 + z^2 + \lambda (x^2 + y^2 + 2Fyz + Az - r_0^2), \quad (2.16)$$

სადაც λ - ლაგრანჟის თანამამრავლია.

(2.16) ფუნქციის დიფერენცირებით მივიღებთ

$$\begin{cases} \frac{\partial L}{\partial x} = 2\lambda_{\text{Л}}x = 0 \rightarrow x = 0 \\ \frac{\partial L}{\partial y} = 2y + 2\lambda_{\text{Л}}(y + Fz) = 0 \\ \frac{\partial L}{\partial z} = 2z + \lambda_{\text{Л}}(2Fy + A) = 0 \end{cases} \quad (2.17)$$

თუ გავითვალისწინებთ, რომ სისტემა უნდა აკმაყოფილებდეს $P(0, b, d)$ ფუნქციის ექსტრემუმის აუცილებელ პირობას, მაშინ (2.16) ჩაიწერება შემდეგი სისტემის სახით:

$$\begin{cases} b + \lambda_{\text{Л}}(b + Fd) = 0; \\ 2d + \lambda_{\text{Л}}(2Fb + A) = 0; \\ b^2 + 2Fbd + Ad = r_0^2. \end{cases} \quad (2.18)$$

სისტემის ამოხსნის შედეგად მივიღებთ A და F კოეფიციენტების შემდეგ მნიშვნელობებს:

$$A = \frac{(r_0^2 - b^2)(d^2 - b^2)}{d^3} + 2\frac{b^2}{d}; \quad F = \frac{b(r_0^2 - b^2 - 2d^2)}{2d^3}$$

ზემოთმოყვანილი გამოსახულებებიდან მივიღებთ

$$z = w_z = \frac{r_0^2 - r^2}{A + 2Fr \sin \varphi} \quad (2.19)$$

სისტემას კი ექნება სახე:

$$\begin{cases} 2w_{cp} \left(1 - \frac{r^2}{r_0^2}\right) K \frac{\partial T}{\partial z} = \frac{\lambda}{\rho c_p} \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial T}{\partial r}\right) + \frac{\mu}{\rho c_p} \left(\frac{\partial w_z}{\partial r}\right)^2; \\ \left(\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(\mu r \frac{\partial w_z}{\partial r}\right)\right) = \frac{\partial p}{\partial z}; \\ \frac{\partial(\rho w_z)}{\partial z} = 0. \end{cases} \quad (2.20)$$

(2.20) განტოლებათა სისტემისათვის უგანზომილებო სახის მისაღებად მარჯვენა და მარცხენა ნაწილები გავყოთ მაქსიმალურ ტემპერატურათა სხვაობაზე $T_0 - T_c$, სადაც T_0 - მილსადენის შესასვლელზე ნაკადის ტემპერატურაა.

შემოვიტანოთ უგანზომილებო ცვლადები:

$$\theta = \frac{T - T_c}{T_0 - T_c}, \quad Z^* = \frac{1}{2Pe} \frac{z}{r_0}, \quad Pe = \frac{2w_{cp}r_0}{\alpha}, \quad R = \frac{r}{r_0}, \quad W = \frac{w_z}{w_{cp}}, \quad Eu = \frac{\Delta p}{\rho w_{cp}^2},$$

ასევე გამოიყენება გამოსახულება სიბლანტის გამოსათვლელად $\mu = \mu_0 e^{AT}$ [115, 117]. სიდიდეები μ_0 და A - განისაზღვრება ექსპერიმენტალურად; $a = \lambda / \rho c_p$ - ნავთობის ტემპერატურაგამტარობის კოეფიციენტია.

ზემოთაღნიშნულიდან გამომდინარე ჩავწერთ სისტემას

$$\begin{cases} \alpha(1-R^2)K \frac{(T_0-T_c)}{r_0^2} \frac{\partial \theta}{\partial Z^*} = \alpha \left(\frac{(T_0-T_c)}{r_0^2 R} \frac{\partial}{\partial R} \left(R \frac{\partial \theta}{\partial R} \right) + \frac{(T_0-T_c)}{r_0^2 R^2} \frac{\partial^2 \theta}{\partial \varphi^2} \right) + \frac{\mu_0 e^{AT}}{\rho c_p} \frac{w_{cp}^2}{r_0^2} \left(\frac{\partial W}{\partial R} \right)^2 ; \\ \frac{e^{A(T_c+\theta(T_0-T_c))}}{R} \left(\left(\frac{\partial R}{\partial \theta} + RA(T_0-T_c) \right) \frac{\partial \theta}{\partial R} \frac{\partial W}{\partial R} + R \frac{\partial^2 W}{\partial R^2} \right) = \frac{\rho w_{cp} r_0}{2Pe\mu_0} \frac{\partial Eu}{\partial Z^*} ; \\ \frac{\partial(\rho w_z)}{\partial z} = 0. \end{cases} \quad (2.21)$$

$$\text{სადაც } K = \frac{r_0^2}{2(A + 2Fr \sin \varphi)w_{cp}}.$$

საწყისი სასაზღვრო პირობები:

$$\theta|_{Z^*=0} = 1, \quad (2.22)$$

$$\frac{\partial \theta}{\partial R} \Big|_{R=0} = 0, \quad (2.23)$$

$$\frac{\partial \theta}{\partial R} + Bi\theta \Big|_{r=r_0} = 0, \quad (2.24)$$

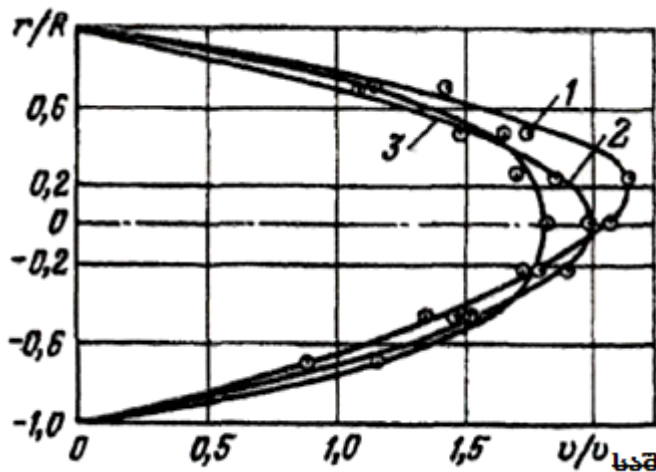
$$W|_{R=1} = 0, \quad (2.25)$$

$$\frac{\partial W}{\partial R} \Big|_{R=0} = 0. \quad (2.26)$$

ზემოთაღნიშნულიდან გამომდინარე, ჩატარებული გამოკვლევები გვიჩვენებენ, რომ ჰორიზონტალური მილსადენის განიკვეთში, ნავთობის ტემპერატურა მისი მოძრაობის სიჩქარეზე დამოკიდებულებით ნაწილდება არათანაბრად. თუ გავითვალისწინებთ იმას, რომ ნავთობის ტრანსპორტირება ფაქტიურად ყოველთვის ხორციელდება კრიტიკულ სიჩქარესთან მიახლოებული სიჩქარით, ამიტომ ასეთი არათანაბარი განაწილება ყოველთვის არსებობს. ეს განტოლებები შეიძლება ამოიხსნას მხოლოდ მასში შემავალი ცვლილების ლოკალური მნიშვნელობებისათვის სიჩქარის განაწილების განსაკუთრებულობის გათვალისწინებით.

სითხის ნაკადში ტემპერატურის სხვადასხვა მნიშვნელობა ცვლის გრძივი სიჩქარის განაწილების სურათს. ცნობილია, რომ ერთგვაროვანი სითხის მოძრაობისას, გრძივი სიჩქარის განაწილების ეპიურა მუდმივი სიმქისის მილში ნებისმიერი დიამეტრის სიმეტრიულია. ცვლადი სიბლანტის სითხისათვის კი სიჩქარის სიმეტრიულობა ირღვევა ნაკადის ფარდობითი ღერძის მიმართ. ასიმეტრიულობის ხარისხი ხასიათდება იმით, რომ მაქსიმალური სიჩქარის მდებარეობა არ ემთხვევა მილის გეომეტრიულ ღერძს და გადანაცვლებულია სიმეტრიის ღერძიდან ზევით დაბალი სიბლანტის არისკენ.

აღსანიშნავია, რომ ღერძის წანაცვლების სიდიდე იზრდება ნაკადის არათანაბრობის ზრდასთან ერთად. ასევე სიჩქარის გრადიენტი ნაკადის ზედა ნაწილში უფრო ნაკლებია ვიდრე ქვედაში. ამიტომ მაღალი სიბლანტის ნავთობის მოძრაობისას სიჩქარის ეპიურა რამდენადმე გაწელილია დინების მიმართულებით და გადანაცვლებულია ღერძიდან ზევით [52]. სურ. 2.8 - ზე წარმოდგენილია ნავთობის ემულსიის ნაკადის ლამინარული მოძრაობისას სიჩქარის განაწილების ეპიურა.



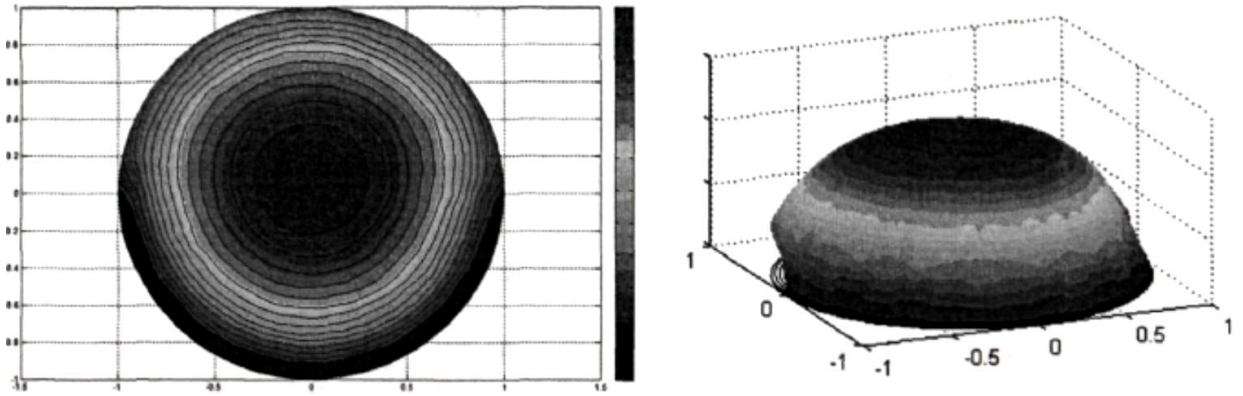
ნახ. 2.8. სიჩქარეების განაწილების ეპიურა დინებების მოდელებისათვის [29].

1 - შრეობრივი; 2 - ერთგვაროვანი; 3 - მყარი ფაზის წანაცვლება მილსადენის განიკვეთში ნავთობის ემულსიის დინებისას.

რადგან K კოეფიციენტი ითვალისწინებს მაღალი სიბლანტის ნავთობის დინამიკური ღერძის წანაცვლებას, ამიტომ არაწრფივი დიფერენციალური განტოლებების სისტემის ამოხსნა დაიყვანება ერთი თბოგამტარობის დიფერენციალური განტოლების ამოხსნაზე.

$$\alpha(1 - R^2)K \frac{(T_0 - T_c)}{r_0^2} \frac{\partial \theta}{\partial Z^*} = \alpha \left(\frac{(T_0 - T_c)}{r_0^2 R} \frac{\partial}{\partial R} \left(R \frac{\partial \theta}{\partial R} \right) + \frac{(T_0 - T_c)}{r_0^2 R^2} \frac{\partial^2 \theta}{\partial \varphi^2} \right) + \frac{\mu_0 e^{AT}}{\rho c_p} \frac{w_{cp}^2}{r_0^2} \left(\frac{\partial W}{\partial R} \right)^2 \quad (2.27)$$

განტოლების ამოხსნა ხორციელდება რიცხვითი მეთოდებით Matlab, სურ. 2.9 -ზე წარმოდგენილია მოდელირების შედეგები [115].



ნახ. 2.9. ნავთობის თბური ნაკადის განაწილება მილის განიკვეთში.

გრაფიკიდან ჩანს, რომ ნავთობსადენის განიკვეთში თბური ნაკადი გადანაცვლებულია მილსადენის გეომეტრიული ღერძიდან ზევით, რაც ადასტურებს ნავთობის ნაკადის დინამიკური ღერძის წანაცვლების ფაქტს.

2.5. გეოთერმული სითბური ენერჯის გამოყენება მილსადენში ნავთობის შესათბობად

გეოთერმული ენერჯის სასარგებლოდ გამოყენების შესაძლებლობა ყოველთვის იპყრობდა ადამიანის ყურადღებას. გეოთერმული ენერჯის ძირითადი დადებითი მხარეა ის, რომ პრაქტიკულად არ წარმოადგენს წიაღისეულს და წლის ნებისმიერ პერიოდში სრულად დამოუკიდებელია გარემო პირობებისაგან. გეოთერმული ენერჯია წარმოიქმნება დედამიწის ბირთვის ცენტრალურ ნაწილებში და ხასიათდება თბური ენერჯის დიდი ბიძგით. მაგალითად, დედამიწის ზედაფენების სამკილომეტრიან შრეში დაგროვილი გეოთერმული ენერჯია ექვივალენტურია 300 მილიარდი ტონა ქვანახშირის დაწვისას მიღებული სითბოსი. დედამიწის ბირთვში დაგროვილი სითბო, ცხელი წყლის სახით, ამოიფრქვევა ნაპრალებიდან ან ვულკანის ყელებიდან დედამიწის ზედაპირზე.

გარდა ამისა მაგმა თავის სითბოს გადასცემს სამთო ქანებს, რომელთა ტემპერატურა სიღრმის ზრდასთან ერთად იზრდება. მონაცემების საფუძველზე სამთო ქანების ტემპერატურა ყოველ 33 მ სიღრმეზე, საშუალოდ იმატებს 1°C -ით (ამ სიღრმეს გეოთერმული საფეხური ეწოდება). ეს მიუთითებს იმაზე, რომ 3-4 კმ სიღრმეზე წყალი დუღილის მდგომარეობაშია, ხოლო 10-15 კმ სიღრმეზე ქანების ტემპერატურა აღწევს $1000 - 1200^{\circ}\text{C}$. აღსანიშნავია, რომ გეოთერმული საფეხური ზოგჯერ სხვადასხვა მნიშვნელობისაა. მაგალითად ვულკანის მოქმედების რაიონში ყოველ 2-3 მ სიღრმეზე ქანის ტემპერატურა იმატებს 1°C -ით, ხოლო ჩრდილოეთ კავკასიის რაიონებში გეოთერმული საფეხური შეადგენს 15-20 მ. მოყვანილი მაგალითებიდან შეიძლება გავაკეთოთ დასკვნა იმის შესახებ, რომ გეოთერმული ენერჯის წყაროები არსებობენ ერთმანეთისაგან განსხვავებულ ტემპერატურულ პირობებში და ტემპერატურა წარმოადგენს გეოთერმული სითბოს ძირითად მახასიათებელს.

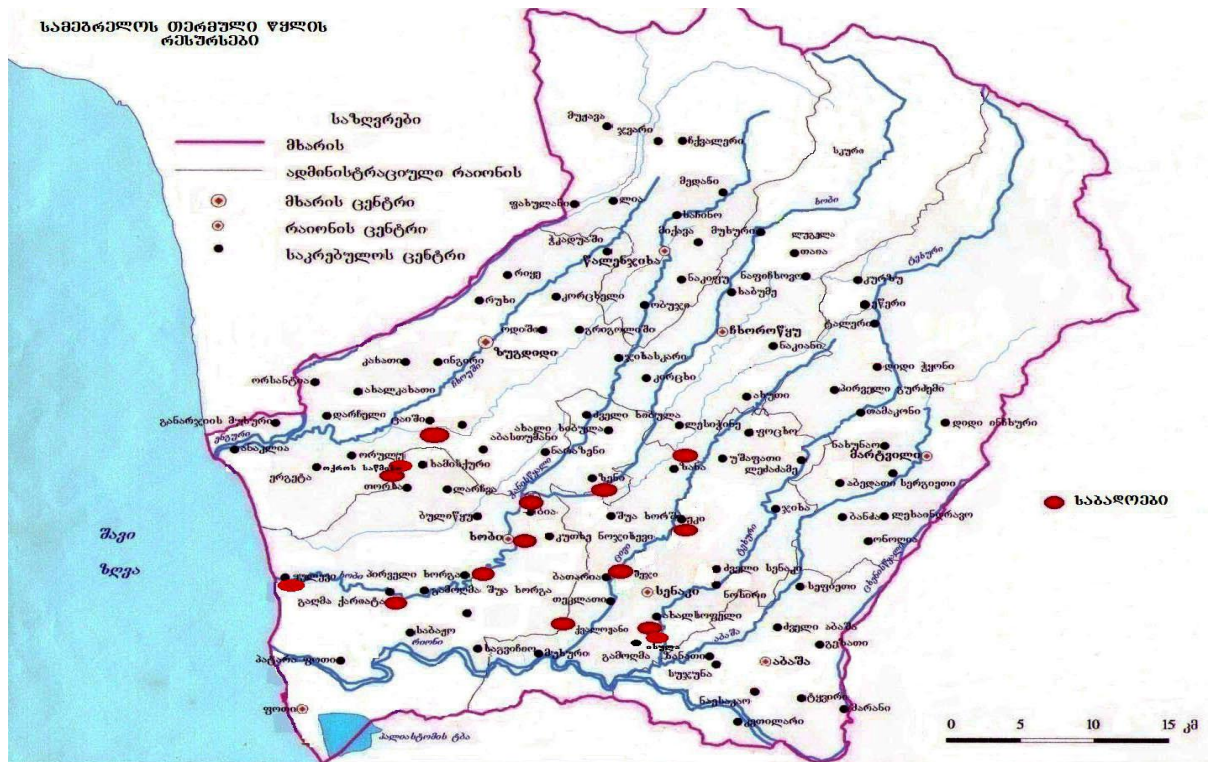
არსებობს მიწისქვეშა სითბოს გამოყენების შემდეგი პრინციპიალური შესაძლებლობა. წყალი ან ორთქლისა და წყლის ნარევი, მათი ტემპერატურისაგან დამოკიდებულებით, შეიძლება გამოვიყენოთ ცხელი წყლით ან სითბოს მომარაგების მიზნით, ან კიდევ თბოელექტროსადგურებში ელექტროენერჯის მისაღებად. ამასთან თბოელექტროსადგურის მოწყობილობა დამოკიდებულია იმაზე, თუ როგორია გეოთერმული ენერჯის წყაროს სახე.

თუ მოცემულ რაიონში გვაქვს მიწისქვეშა თერმული წყლების წყარო, მაშინ მიზანშეწონილია იგი გამოვიყენოთ ცხელი წყლით მომარაგების და სითბოსმომარაგების მიზნით. მაგალითად, დასავლეთ ციმბირის ტერიტორიაზე არსებობს მიწისქვეშა ზღვა, რომლის ფართობია 3 მილ-ნი მ^2 და წყლის ტემპერატურაა $70-90^{\circ}\text{C}$. იგი გამოიყენება მხოლოდ ზემოთაღნიშნული მიზნებისათვის. აგრეთვე გეოთერმული წყლების დიდი მარაგია: დაღესტანში, ჩრდილოეთ ოსეთში, ჩეჩნეთში, ინგუშეთში, ყაბარდო-ბალყარეთში, სტავროპოლისა და კრასნოდარის მხარეებში, ყაზახეთში, კამჩატკაზე, სამხრეთ კავკასიაში და სხვა მთელ რიგ რაიონებში. დაღესტანში დიდი ხანია თერმული წყლები გამოიყენება თბომომარაგების მიზნით. ბოლო 15 წლის მანძილზე მოხმარებულია 97 მილ. მ^3 თერმული წყალი, რომელმლისგანაც მიღებულია 638 ათასი ტონა პირობითი სათბობის ეკონომია.

თერმული წყლების დიდი მარაგია საწართველოში. თერმული წყლის ხარჯი დღეღამეში 300-350 ათასი მ³-ია და საშუალო ტემპერატურა 80°C-ია. საქართველოს დედაქალაქი თბილისი გაშენებულია გეოთერმული წყლების ტერიტორიაზე, რომლის ტემპერატურა 100°C-ია და დიდი რაოდენობით შეიცავს გოგირდწყალბადისა და მეთანოაზოტის ნაერთებს.

გეოთერმული წყაროების ძირითადი თავმოყრა შეინიშნება დასავლეთ საქართველოს ტერიტორიაზე, კერძოდ მდ. რიონის შავი ზღვის შესართავის მიდამოებში. ამასთან ზუგდიდის და ხობის რაიონებში, ახლადმოქმედებული ყულევის პორტის და პერსპექტიული პორტის ანაკლიის მახლობლობაში განლაგებულია თხუთმეტამდე მიწისქვეშა ცხელი წყლის წყარო.

2.5.1. დასავლეთ საქართველოს გეოთერმული წყაროების მახასიათებლები



ნახ. 2.10. გეოთერმული წყლების წყაროები დასავლეთ საქართველოში - ფოთის, ყულევის და ანაკლიის პორტების რაიონებში.

გეოთერმიის თვალსაზრისით საქართველო თერმულად ზომიერი რეგიონია, სადაც ჰიდროთერმული რესურსების ტემპერატურა არ აღემატება 110-120°C. თანამედროვე მონაცემებით, საქართველოს ტერიტორიაზე გეოთერმული წყლების საერთო მარაგი წელიწადში შეადგენს 250 მლნ. მ³ რომელთა საშუალო ტემპერატურა 50-110°C ზღვრებშია. საქართველოში რეგიონალური გავრცელებით, დიდი სიძლიერებით, მაღალი ტევადობით და ფილტრაციული თვისებებით, წყლის წყაროებით და მაღალი ტემპერატურით გამოიყოფა გეოთერმული წყლების ორი სისტემა: ჰალგოლითის და ნეოლითის შუა ხანების წყალშემცველი კომპლექსი, შედგება ვულკანური წარმოშობის ქანებისაგან და განლაგებულია აჭარა - თრიალეთის სისტემაში შავი ზღვიდან თბილისამდე; კირქვისა და დოლომიტის ქანებისაგან შემდგარი წყალშემცველი კომპლექსი განლაგებულია მთელი კოლხეთის დაბლობზე შავი ზღვიდან ქუთაისამდე. ამ ორ კომპლექსთანაა დაკავშირებული დასავლეთ საქართველოს გეოთერმული წყაროების უმეტესი ნაწილი. ცხრილში 2.1. მოცემულია დასავლეთ საქართველოს გეოთერმული წყაროების მახასიათებლები.

ცხრილი 2.1.

დასავლეთ საქართველოს გეოთერმული წყაროების მახასიათებლები.

№	წყაროს №	წყაროს დასახელება და ადგილმდებარეობა	ხაზობრივი კოორდინატები		ტემპერატურა °C	დებეტი მ ³ /დღ	გამოყენება
			X	Y			
1	2	3	4	5	6	7	8
1	1	ზუგდიდი-ცაიში ცაიშის დასახლება	730984	4701061	82	1700	არ გამოიყენება
2	1	ზუგდიდი-ცაიში ცაიშის დასახლება	731015	4703571	86	3900	ლიცენზირებულია
3	1	ზუგდიდი-ცაიში დასახ. წითაწყარო	732862	4705900	85	3000	ლიცენზირებულია
4	1	ზუგდიდი-ცაიში ცაიშის დასახლება	730934	4701036	84	4900	არ გამოიყენება
5	1	ზუგდიდი-ცაიში ცაიშის დასახლება	730919	4701011 3	98	3500	არ გამოიყენება
6	1	ზუგდიდი-ცაიში დასახ. წითაწყარო	732760	4703782	85	3200	ლიცენზირებულია
7	1	ზუგდიდი-ცაიში დასახ. წითაწყარო	732570	4701062	80	2800	არ გამოიყენება

1	2	3	4	5	6	7	8
8	1	ზუგდიდი-ცაიში ცაიშის დასახლება	730082	4702677	94	1200	ლიცენზირებულია
9	1	ზუგდიდი-ცაიში ცაიშის დასახლება	730347	4703756	90	1300	ლიცენზირებულია
10	2	მენჯი-სენაკი სოფ. სახარბედო	4687702	8254352	57	900	ლიცენზირებულია
11	2	მენჯი-სენაკი კურ. მენჯი	4688546	8255311	58	2400	არ გამოიყენება
12	2	მენჯი-სენაკი დასახ. თეკლათი			65	1200	თბური მეურნეობა
13	2	მენჯი-სენაკი ოკომოტივის მონაკვეთი	254348	4685741	85	250	არ გამოიყენება
14	3	სენაკი, ისულას დასახლება	4681116	8258300	75	370	ლიცენზირებულია
15	4	სენაკი, დასახ. ნოქალაქევი	4696136	8269043	80	345	არ გამოიყენება
16	4	სენაკი, დასახ. ნოქალაქევი	469402	8268811	82	345	არ გამოიყენება
17	5	სენაკი, დასახ. ზანა	4701779	8260514	100	400	ლიცენზირებულია
18	6	ხობი, დასახ. ტორსა	0729399	4691473	63	96	არ გამოიყენება
19	7	ხობი, დასახ. ოქროსსაწმისი	0730508	4689889	-	-	არ ფუნქციონირებს
20	8	ქვალონი, ხობი, დასახ. ხორგა	4684194	7737429	98	1300	ლიცენზირებულია
21	8	ქვალონი, ხობი, დასახ. ხორგა	4684624	7737550	78	3000	თბური მეურნეობა
22	9	ხობი, დასახ. ნოჯისხევი	740052	4689312	80	350	ლიცენზირებულია
23	10	ხობი, დასახ. ბია.	740052	4689312	65	2600	ლიცენზირებულია
24	11	ხობი, დასახ. ჯაბსაკარი			64	120	არ გამოიყენება
25	12	ხობი, დასახ. საჯიჯაო	4698308	7746987	78	372	ლიცენზირებულია
26	13	ხობი დასახ. კარიათა	4684125	774125	50	345	არ გამოიყენება

2.5.2. მილსადენში მოძრავი ნავთობის შემთბობი რეკუპერაციული თბომცვლელის გაანგარიშების მეთოდика

მაღალი სიბლანტის ნავთობის მოპოვება და გადატუმბვა დღემდე რთულ ტექნიკურ და ტექნოლოგიურ ამოცანას წარმოადგენს. მილსადენური ტრანსპორტით, მაღალი სიბლანტის ნავთობის ტრანსპორტირების ყველაზე ფართოდ გავრცელებული სახეა გადატუმბვა მისი წინასწარი შეთბობით.

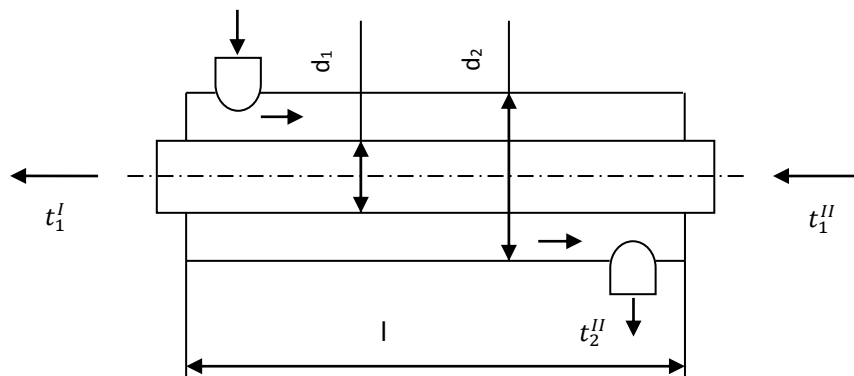
ყუღევის და ანაკლიის პორტების რაიონებში, პერსპექტიული ნავთობსადენის გაყვანის ან ნავთობისშემნახველი რეზერვუარების აგებისას, მილსადენში ან ნავთობსაცავში, ნავთობის შეთბობის მიზნით დიდი წარმატებით შეიძლება გამოყენებული იქნას გეოთერმული წყლების სითბური ენერგია, რომელთა ბუნებრივი საბადოებით მდიდარია მიმდებარე ტერიტორია (ნახ. 2.13). სითბური ენერგიის გამოყენება კი ხორციელდება სხვადასხვა სახის თბომცვლელ მოწყობილობებში.

ნავთობის თერმული დამუშავება საშუალებას იძლევა შევამციროთ მისი სიბლანტე და დავადაბლოთ გამყარების ტემპერატურა, რაც უზრუნველყოფს ტუმბოების მიწოდების უნარიანობის (მწარმოებლობის) ამაღლებას და მილსადენში ნავთობის ტრანსპორტირების პროცესის გაუმჯობესებას.

თერმულად დამუშავებული ნავთობის რეოლოგიური მახასიათებლების გაუმჯობესების ხარისხი დამოკიდებულია მისი შეთბობის ტემპერატურაზე და შემდგომი გაცივების პირობებზე. პარაფინშემცველი ნავთობისათვის არსებობს შეთბობის ოპტიმალური ტემპერატურა, რომლის დროსაც თერმული დამუშავების ეფექტი ყველაზე მაღალია. ეს ტემპერატურა ყოველთვის მეტია ნავთობის შემადგენლობაში არსებული პარაფინის დნობის ტემპერატურაზე. რადგან სხვადასხვა საბადოს ნავთობში პარაფინის შემცველობა სხვადასხვაა, ამიტომ თერმული დამუშავების ოპტიმალური ტემპერატურის განსაზღვრა თითოეული მათგანისათვის ხდება ექსპერიმენტალური გზით.

ჩვენს კონკრეტულ შემთხვევაში, ნავთობის რეოლოგიური მახასიათებლების შემდგომი კვლევის მიზნით, შემოთავაზებულია თბომცვლელი მოწყობილობის „მილი მილში“ (ნახ. 2.11) თბური გაანგარიშების მეთოდика. მოწყობილობა წარმოადგენს

უწყვეტი ქმედების რეკუპერაციული ტიპის თბომცვლელს, რომელშიაც ცხელი თბოგადამტანი - წყალი მოძრაობს ფოლადის მილის შიგა მოცულობაში, ხოლო გასათბობი ნავთობი (ცივი თბოგადამტანი) მოძრაობს მილებს შიგნით წრიულ არხში.



ნახ. 2.11. თბომცვლელი მოწყობილობა „მილი მილში“.

უწყვეტი ქმედების თბომცვლელი მოწყობილობების გაანგარიშებისას განიხილება სამი სხვადასხვა ტიპის ამოცანა:

1. თბომცვლელი მოწყობილობის ხურების ზედაპირის იმ ფართობის (F) განსაზღვრა, რომელიც უზრუნველყოფს წინასწარ განსაზღვრული რაოდენობის სითბური ენერჯის გადაცემას ცხელი თბოგადამტანიდან ცივზე.
2. სითბოს იმ რაოდენობის (Q) განსაზღვრა, რომელიც თბომცვლელი მოწყობილობის ცნობილი ხურების ფართის შემთხვევაში ცხელი თბოგადამტანიდან გადაეცემა ცივს.
3. თბომცვლელი მოწყობილობის თბოცვლაში მონაწილე ცნობილი ზედაპირის ფართისა (F) და ცხელიდან ცივ თბოგადამტანზე გადაცემული სითბური ენერჯის (Q) მოცემული სიდიდის პირობებში განვსაზღვროთ თბოგადამტანების საბოლოო ტემპერატურები.

ძირითად საანგარიშო განტოლებას, დასმული ამოცანის გადასაწყვეტად, წარმოადგენს სითბოგადაცემის და თბომცვლელი მოწყობილობის თბური ბალანსის განტოლებები:

$$Q = KF\Delta T$$

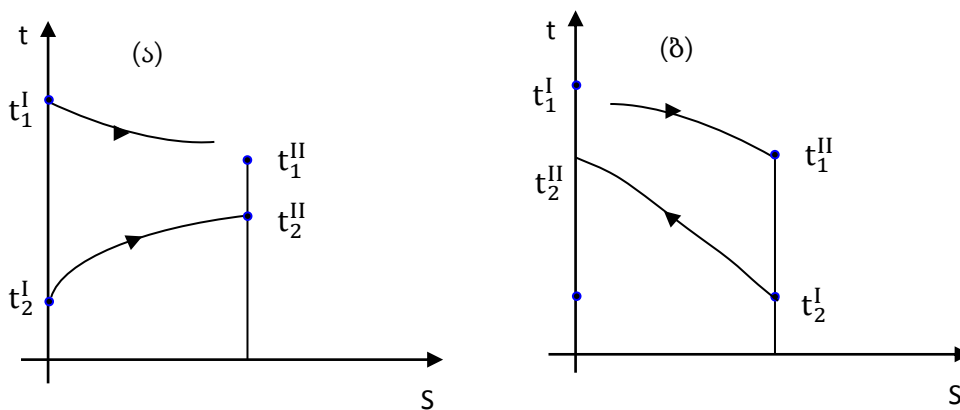
$$Q = G_1 C_1 (t_1^I - t_1^{II}) = G_2 C_2 (t_2^{II} - t_1^I)$$

სადაც G_1, G_2 – ცხელი და ცივი თბოგადამტანების მასური ხარჯია; C_1, C_2 – თბოგადამტანების სითბოტევადობებია შესაბამისად; t_1^I, t_1^{II} და t_2^I, t_2^{II} – ცხელი და ცივი თბოგადამტანების საწყისი და საბოლოო ტემპერატურებია.

თბური ბალანსის განტოლებაში მასური ხარჯის სიდიდის ნაცვლად გამოიყენება ნამრავლი $G = W\rho f$, სადაც W – თბოგადამტანის მოძრაობის სიჩქარეა, f – არხის განივი კვეთის ფართობი, ρ – თბოგადამტანის სიმკვრივე. აღნიშნულის გათვალისწინებით თბური ბალანსის განტოლებას აქვს სახე

$$W_1 f_1 \rho_1 C_1 (t_1^I - t_1^{II}) = W_2 f_2 \rho_2 C_2 (t_2^I - t_2^{II})$$

სითბოგადაცემის განტოლებაში Δt წარმოადგენს საშუალო ტემპერატურულ დაწნევას, რომლის სიდიდე განისაზღვრება ხურების ზედაპირის გასწვრივ მუშა სხეულების ტემპერატურის ცვლილებით. თუ ცხელი და ცივი თბოგადამტანი სითხეები ხურების ზედაპირის გასწვრივ გადაადგილდებიან ერთი და იგივე მიმართულებით, მოძრაობას ეწოდება პირდაპირი, ხოლო თუ გადაადგილება შემხვედრი მიმართულებისაა, გვაქვს საწინააღმდეგო დინება. პრაქტიკულად საწინააღმდეგო დინების დროს საშუალო ტემპერატურული დაწნევის სიდიდე მეტია და თვითონ თბომცვლელიც უფრო კომპლექსურია, ვიდრე პირდაპირი დინებისას (ნახ. 2.12).



ნახ. 2.12. თბოგადამტანების ტემპერატურების ცვლილება პირდაპირი (ა) და საწინააღმდეგო (ბ) დინების შემთხვევაში.

თბოგადამტანების საწინააღმდეგო დინების დროს საშუალო ლოგარითმული ტემპერატურული დაწნევა განისაზღვრება გამოსახულებით

$$\Delta t = \frac{(t_1^I - t_1^{II}) - (t_2^{II} - t_2^I)}{\ln \frac{(t_1^I - t_2^{II})}{(t_1^{II} - t_2^I)}}$$

თბომცვლელ მოწყობილობებში ძირითადად მიმდინარეობს კონვექციური თბოცვლის პროცესი და სითბოგადაცემის კოეფიციენტზე უშუალოდ მოქმედებს სითხეების მოძრაობის რეჟიმი და ფიზიკური პარამეტრები - კუთრი სითბოტევადობა, სიმკვრივე, სიბლანტე და თბოგამტარობის კოეფიციენტი. სითბოგადაცემის საანგარიშო ფორმულას აქვს სახე

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_c}{\lambda_c} + \frac{1}{\alpha_2}}$$

სადაც α_1 - კონვექციური თბოგადაცემის კოეფიციენტია ცხელი თბოგადამტანიდან მილსადენის კედელზე; α_2 - კონვექციური თბოგადაცემის კოეფიციენტია მილის კედლიდან ცივ თბოგადამტანზე; δ_c - მილის კედლის სისქეა; λ_c - მილის თბოგამტარობის კოეფიციენტია.

კონვექციური თბოგადაცემის კოეფიციენტები α_1 და α_2 მრავალ ფიზიკურ სიდიდეზე დამოკიდებული პარამეტრებია და მათი მნიშვნელობების გამოთვლა ხორციელდება მუშა სხეულების (თბოგადამტანების) შესაბამისი კრიტერიალური განტოლებების საფუძველზე.

ამოცანის ამოხსნისას განისაზღვრება გასაცხელებელ სითხეზე გაცემული სითბო და ცხელი თბოგადამტანის ტემპერატურა გამოსასვლელზე

$$Q = G_2 C_2 (t_2^{II} - t_1^I) \quad t_1^{II} = t_1^I - \frac{Q}{G_1 C_1}$$

თბოგადამტანების საშუალო ტემპერატურების $t_1 = 0,5(t_1^I + t_1^{II})$ და $t_2 = 0,5(t_2^I + t_2^{II})$ მიხედვით, ცხრილებიდან განვსაზღვრავთ მათ მახასიათებელ ისეთ ფიზიკურ სიდიდეებს, როგორცაა: სიმკვრივე ρ_1, ρ_2 ; თბოგამტარობის კოეფიციენტი λ_1, λ_2 ; სიბლანტე ν_1, ν_2 ; პრანდტლის კრიტერიუმი Pr_1, Pr_2 .

თბოგადამტანების მოძრაობის სიჩქარე

$$W_1 = \frac{4G_1}{3600\rho_1\pi d_1^2}; \quad W_2 = \frac{4G_2}{3600\rho_2\pi(D-d_2)^2}$$

გამაცხელებელი სითხის ნაკადის რეინოლდსის რიცხვი განისაზღვრება დამოკიდებულებით $Re_1 = \frac{W_1 d_1}{\nu_1}$.

თუ მოძრაობის რეჟიმი ტურბულენტურია, ე.ი. $Re \geq 10000$, მაშინ ნუსელტის კრიტერიუმი და კონვექციური თბოგაცემის კოეფიციენტი იანგარიშება გამოსახულებით

$$N_{u1} = 0,021 R_{e1}^{0,6} \cdot P_{r1}^{0,43} \left(\frac{P_{r1}}{P_{re1}} \right)^{0,25}$$

$$\alpha_1 = N_{u1} \cdot \frac{\lambda_1}{d_1}$$

შესათბობი ნავთობის ნაკადის რეინოლდსის რიცხვი

$$R_{e2} = \frac{W_2 d}{\nu_2}$$

თუ დინების რეჟიმი ტურბულენტურია, მაშინ ნუსელტის კრიტერიუმი და კონვექციური თბოგაცემის კოეფიციენტი კედლიდან ნავთობზე იანგარიშება ფორმულებით:

$$N_{u2} = 0,17 R_{e2}^{0,28} \cdot P_{r2}^{0,4} \left(\frac{P_{r2}}{P_{re2}} \right)^{0,25} \cdot \left(\frac{D}{d_2} \right)^{0,18}$$

$$\alpha_2 = N_{u2} \cdot \frac{\lambda_2}{d_3}$$

სადაც $d_3 = D - d_2$ წრიული არხის ექვივალენტური დიამეტრია.

სითბოგადაცემის K და საშუალო ტემპერატურული დაწნევის Δt მიხედვით განვსაზღვრავთ თბური ნაკადის სიმკვრივეს $q = K \cdot \Delta t$, ხოლო თბოცვლაში მონაწილე თბომცვლელის ზედაპირის ფართი და სექციების რიცხვი განისაზღვრება დამოკიდებულებით $F = Q/q$ და $n = F/\pi d_1 l$.

სადაც l მილის სიგრძეა თბომცვლელში.

გაანგარიშების წარმოდგენილი მეთოდიკა საშუალებას იძლევა განვსაზღვროთ თბომცვლელი მოწყობილობის (ამ შემთხვევაში „მილი მილში“) ოპტიმალური კონსტრუქციული ზომები, მოცემული თბომწარმოებლობისა და თბოგადამტანების საწყისი და საბოლოო ტემპერატურების ცნობილი სიდიდეების შემთხვევაში, ან კიდევ განვსაზღვროთ თბოგადამტანების საბოლოო ტემპერატურები, მათი საწყისი ტემპერატურებისა და თბომცვლელის ზედაპირის ფართის მიხედვით.

2.6. მზის სითბური ენერჯის გამოყენება მილსადენში ნავთობის შესატობად

ჩვენი ცივილიზაციის მთელი ამ ხნის მანძილზე, მრავალგზის მოხდა ტრადიციული ენერჯის წყაროს შეცვლა ახალი, უფრო თანამედროვე ენერჯის წყაროთი. ძველ ცხოვრებაში და შედარებით ადრე, მე-18 საუკუნემდე, ენერჯეტიკაში წამყვანი როლი ეკავა მზის, ქარისა და წყლის ენერჯების გამოყენებას. 300 წლის წინ ადამიანი შევიდა სამრეწველო რევოლუციის ფაზაში, რომლის შედეგად გახდა მეცნიერულ-ტექნიკური პროგრესი, გარემოზე ზემოქმედების მყისიერი გადიდება და ადამიანთა მოთხოვნების ზრდა. სამრეწველო რევოლუციის დასაწყისში ენერჯეტიკაში წამყვანი როლი ეჭირა ქვანახშირის, ხოლო XX საუკუნეში იგი ლიდერობას უთმობს ნავთობს. XX საუკუნის ბოლო ათწლეულში პირველ პოზიციაზე გამოდის ბუნებრივი აირი და მნიშვნელოვან ადგილს იკავებს ატომური ენერჯია.

XXI საუკუნის დასაწყისიდან მსოფლიოს ენერჯეტიკაში იწყება მნიშვნელოვნად ახალი ეტაპი. კერძოდ, თანამედროვე ეტაპზე ენერჯის წყაროს შერჩევასა და მნიშვნელოვანია გარემოს დაცვის პრობლემებთან დაკავშირებული მოთხოვნების გათვალისწინება. ადამიანი მისი საქმიანობით და შექმნილი ტექნიკური სისტემებით სულ უფრო და უფრო ეწინააღმდეგება ბუნების კანონებს. ადამიანის საქმიანობის სფეროებს შორის, სულ უფრო მნიშვნელოვან ადგილს იჭერს ენერჯეტიკა, რომელიც ბიოსფეროში მიმდინარე პროცესებში განმსაზღვრელი ფაქტორია უარყოფითი მიმართულებით. კერძოდ, გარემოს ენერჯეტიკული პრობლემები მჭიდროდაა დაკავშირებული გლობალურ ეკოლოგიურ კრიზისთან.

თანამედროვე ენერჯეტიკული კრიზისი არის ისეთი მრავალფეროვანი პროცესების შედეგი, როგორცაა: ტექნოგენური, სოციალური, ბუნებრივი პროცესები. კერძოდ ენერჯის არაგანახლებადი წყაროების (ნავთობი, გაზი) მოხმარების მიღწევადი პროცესი, მთელ რიგ ქვეყნებში ენერჯის უკმარისობა, ადამიანთა ცხოვრების პირობების გაუარესება იწვევს ბუნებრივ გარემოზე ზეწოლის გაძლიერებას. აღნიშნული პროცესები შეინიშნება როგორც ეკონომიურად განვითარებულ, ასევე განვითარებად ქვეყნებში. განვითარებადი ქვეყნები ისწრაფვიან ენერჯომოხმარების გაზრდისაკენ, მიუხედავად ორგანული სათბობის მოხმარების საერთაშორისო შეზღუდვისა, რადგან

ატმოსფეროში გამოყოფილი ნახშირბადის დიოქსიდი აძლიერებს სათბურის ეფექტს და ხელს უწყობს გლობალური დათბობის პროცესს დედამიწის ზედაპირზე. გარდა ამისა ბიოსფეროში ადამიანის მიერ დამატებითი ენერჯის შეტანა არღვევს ეკოლოგიურ წონასწორობას. იცვლება ბიოსფეროს შედგენილობა, სტრუქტურა და ორგანიზაცია ერთი სახის ლანდშაფტის მეორეთი შეცვლისას. ასევე ირღვევა მსოფლიო ოკეანის ზედაპირული მიკროსტრუქტურა, რაც ცვლის ბიოსფეროს თერმოდინამიკურ რეჟიმს.

თანამედროვე საზოგადოების ენერგომოხმარება შეადგენს დაახლოებით 10^{13} ვატს წელიწადში და 95%-ით დაკავშირებულია სათბობის საბადოების გამოყენებასთან. ძალზე ხშირად ენერგეტიკულ კრიზისს მიაწერენ საბადოებში მოპოვებადი სათბობის გამოლევას, მაგრამ სინამდვილეში საქმე გვაქვს სხვა სახის კრიზისთანაც. კერძოდ, წიაღისეულის სახით მოპოვებული ტრადიციული სათბობი იწვევს დედამიწის ზედაპირის თერმოდინამიკურ გადახურებას ატმოსფეროში CO_2 – ის მაღალი კონცენტრაციის გამო. ასევე ირღვევა ბიოსფეროს მდგრადობა ადამიანის ანთროპოგენური ზემოქმედების გამო. გარდა ამისა, წიაღისეული სათბობის მიღებადი პროცესი იწვევს ენერჯის ახალი წყაროების ძიების აუცილებლობას.

სათბობის ბუნებრივი საბადოების ყოველდღიური შემცირება კაცობრიობას მომავალი თაობის წინაშე ვალდებულს ხდის, შეამციროს მათი მოხმარება და ეძიოს ენერჯის ახალი წყაროები, რათა საბადოების გარკვეული ნაწილი გადაეცეთ მათ. ასევე ტრადიციული ენერჯო რესურსების გამოყენების შემცირება დაკავშირებულია ბიოსფეროს ეკოლოგიური ბალანსის რღვევის თავიდან აცილებასთან. უნდა აღინიშნოს, რომ ენერჯის მოხმარების კუთხით დიდია სხვაობა ჩრდილოეთის (აშშ, დასავლეთ ევროპა, იაპონია და სხვა) და სამხრეთის (აზია, აფრიკა, ლათინური ამერიკა) ქვეყნებს შორის. სამხრეთის ქვეყნებში, რა თქმა უნდა ცდილობენ შეამცირონ ეს სხვაობა. თუ სამხრეთის ქვეყნები მიაღწევენ ერთ სულ მოსახლეზე წარმოებულ ენერჯიას $1/3$ ნაწილს ჩრდილოეთის ქვეყნებთან შედარებით, მაშინ დედამიწაზე ენერჯის წარმოება გაიზრდება 10-ჯერ, რაც მნიშვნელოვნად სახიფათოა. ამასთან ერთად განვითარებად ქვეყნებში ენერჯის წარმოების შეზღუდვა სახიფათოა, რადგან ტექნოლოგიური და ეკონომიკური ჩამორჩენილობა არ მოგვცემს ეკოლოგიური პრობლემების გადაჭრის საშუალებას.

ყოველივე ზემოთაღნიშნულიდან გამომდინარე ენერგეტიკა, ეკონომიკა და ეკოლოგია ერთმანეთისაგან განუყოფელი ცნებებია. უკანასკნელი ათი წლის მანძილზე ენერგეტიკული ტექნოლოგიების განვითარება უფრო სწრაფად ხორციელდება, ვიდრე მთელი რიგი მრეწველობის დარგებისა, ან რაც იგივეა, ეკონომიკის ენერგოტევალობა იზრდება გარდამავალი ტემპებით, რაც ამტკიცებს ბუნებითსარგებლობის ერთ-ერთ ფუნდამენტალურ კანონს.

XX საუკუნეში ენერჯის მოხმარება დაახლოებით გაიზარდა 15-ჯერ. მსოფლიო მიდის არაგანახლებადი ბუნებრივი ენერგეტიკული რესურსების გამოლევამდე, რაც დღეისათვის მსოფლიო ენერგეტიკული ბალანსის 90%-ია. უკანასკნელ პერიოდში ტენდენცია გვიჩვენებს განახლებადი ენერჯის წყაროების როლის ზრდას ენერგეტიკაში და უკანასკნელი 10 წლის მანძილზე მათი წილი შეადგენს 10-20%. სათბობის განახლებადი არატრადიციული წყაროების ენერგეტიკაში დანერგვა ასევე დაკავშირებულია გლობალურ ეკოლოგიურ პრობლემებთან, რადგან ქვანახშირის, ნავთობის, გაზის, ტორფის მოხმარების შედეგად იზრდება ატმოსფეროში CO₂ – ის კონცენტრაცია და გლობალური დათბობის შედეგად გამოწვეული რისკები.

ენერგეტიკული და ეკოლოგიური კრიზისის გადალახვის ერთ-ერთი ეფექტური გზაა მზის ენერჯის ფართო გამოყენება. დედამიწაზე მოსული მზის ენერჯის რაოდენობა აჭარბებს ნავთობის, გაზის, ქვანახშირის და სხვა ენერგეტიკული რესურსების ერთად აღებულ მსოფლიო მარაგს. ამ ენერჯის ერთი მესამედი პროცენტის გამოყენებაც კი სრულიად უზრუნველყოფს მსოფლიო ენერგეტიკის დღევანდელ მოთხოვნებს, ხოლო ნახევარი პროცენტის გამოყენება კი უზრუნველყოფს მოთხოვნებს მომავალში. მზის ენერჯის მოხმარების უპირატესობა მდგომარეობს იმაში, რომ მზის მოწყობილობების მუშაობისას არ იქმნება სათბურის ეფექტი და არ არსებობს ეკოლოგიური დაბინძურების საშიშროება.

საქართველო ხასიათდება მზის ენერჯის გამოყენების უნიკალური შესაძლებლობებით, რადგან წელიწადში 280 დღეზე მეტო მზიანია, მაგრამ მზის ენერჯის გამოყენება დღემდე არასაკმარისი მასშტაბებით ხორციელდება, რაც დაკავშირებულია ინფორმაციის არასაკმარისობისა და მოწყობილობების სიძვირესთან. სამაგიეროდ, ძირითადად გამოიყენება ნახშირი, გაზი, შეშა, რაც მნიშვნელოვნად

განსაზღვრავს ქვეყნის ეკონომიკურ და ეკოლოგიურ მდგომარეობას. მიუხედავად იმისა, რომ სამეცნიერო საზოგადოებამ არა ერთხელ დააყენა საკითხი მზის ენერჯის გამოყენების შესახებ, განსაკუთრებული ეფექტი ამას ჯერაც არ გამოუწვევია.

მოცემული თავის სტრატეგიული მიზანია - მიიპყროს მეცნიერების, ბიზნესის და საზოგადოებრივი ორგანიზაციების ყურადღება, შეიქმნას პირობები საქართველოს ტერიტორიაზე მზის ენერჯის ფართომასშტაბური გამოყენების თვალსაზრისით, როგორც მრეწველობის სხვადასხვა დარგებში, ასევე ნავთობისა და ნავთობპროდუქტების შესატობად, მილსადენში ტრანსპორტირების გაუმჯობესების მიზნით. ასევე ეს ხელს შეუწყობს, სამხრეთ კავკასიის შავი ზღვისპირეთის პორტებში, საზღვაო ტანკერებში ნავთობის ჩატვირთვის პროცესის გაუმჯობესებას, რის გამოც გაიზრდება გადაზიდვის პროცესის ეკონომიკური ეფექტი და შემცირდება გარემოს დაბინძურების ხარისხი როგორც მილსადენის ტრასაზე, ასევე ნავთობგადამტვირთავ ტერმინალებში და სანაპიროზე მთლიანად.

2.6.1. მზის ენერჯის გამოყენების პერსპექტივები საქართველოს ტერიტორიაზე

დედამიწაზე მოსული მზის რადიაციის საერთო რაოდენობის დახლოებით 30% აირეკლება კოსმოსში მოკლეტალღური გამოსხივების სახით, 47% ადსორბირდება ატმოსფეროში, წყლისა და ხმელეთის ზედაპირების მიერ და გარდაიქმნება სითბურ ენერჯიად, რომლის უმეტესი ნაწილი ნაწილდება კოსმოსში ინფრაწითელი გამოსხივების სახით, დანარჩენი 23% ხმარდება აორთქლებას, კონვექციას, ნალექებს და წყლის ბრუნვას ბუნებში. დაახლოებით 0,2% იხარჯება ოკეანესა და ატმოსფეროში ნაკადების წარმოქმნაზე, ოკეანის ტალღების ჩათვლით. მხოლოდ 0,02% მოიხმარება მწვანე მცენარეებში ქლოროფილის მარცვლების მიერ პლანეტაზე სიცოცხლის შესანარჩუნებლად.

მზის ენერჯის გამოყენებისადმი გაზრდილი ყურადღება გამოწვეულია შემდეგი გარემოებებით:

- მზის ენერჯია, ეს არის ეკოლოგიურად სუფთა ენერჯის წყარო, რომლის გამოყენება შესაძლებელია მზარდი მასშტაბებით, გარემოზე ნეგატიური ზემოქმედების გარეშე;
- მზის ენერჯია, ეს არის პრაქტიკულად ულევო ენერჯის წყარო, რომლის გამოყენება შესაძლებელია მილიონი წლების მანძილზე;
- მზის ენერჯის მიღება შესაზლებელია ჩვენი პლანეტის ნებისმიერ წერტილში, რაც ნებისმიერ ქვეყანას აძლევს ენერჯეტიკული დამოუკიდებლობის შესაძლებლობას.

საქართველო მზის ენერჯის რესურსების მიხედვით მსოფლიოს ერთ-ერთი მდიდარი ქვეყანაა, სადაც წელიწადში 250-280 მზიანი დღეა, რაც ჯამში 1800-2000 საათია. ცხრილში 2.1 მოცემულია საქართველოში მზის გამოსხივების ყოველთვიური განაწილება კვტ/სთ/მ²-ში.

ცხრილი 2.2.

მზის გამოსხივების ყოველთვიური განაწილება საქართველოში

წლის თვეები											
I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
55	57	88	102	112	145	173	190	180	112	52	40

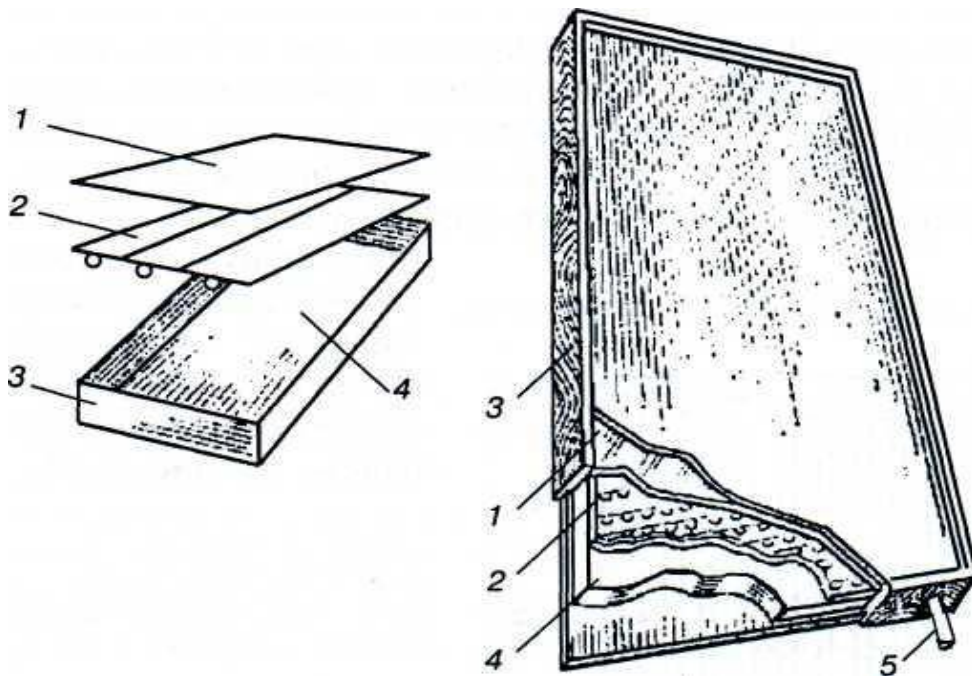
2.6.2. მზის ენერჯის გამოყენების ხერხები

ა) სითბური კოლექტორი. სითბური ენერჯის მიღება მზის გამოსხივების პირდაპირი აბსორბციის გზით, წარმოადგენს ტექნიკური რეალიზაციის თვალსაზრისით შედარებით მარტივ მეთოდს.

მზის მოწყობილობის ძირითად კონსტრუქციულ ელემენტს წარმოადგენს კოლექტორი, რომელშიც ხორციელდება მზის ენერჯის დაჭერა, მისი გარდაქმნა სითბოდ და გამოყენება წყლის, ჰაერის ან სხვა რომელიმე თბოგადამტანის

გასაცხელებლად. მზის კოლექტორების მრავალ ტიპს შორის ყველაზე ფართო გავრცელება ჰპოვა ბრტყელი და მაფოკუსირებელი ტიპის კოლექტორებმა. ბრტყელ კოლექტორებში მზის ენერჯის შთანთქმა ხდება კონცენტრაციის გარეშე, ხოლო მაფოკუსირებელში კი კონცენტრაციით, ან რაც იგივეა, იზრდება მოსული რადიაციული ნაკადის სიმკვრივე. მაფოკუსირებელი ტიპის მიმღებებს შეუძლიათ წყალი გააცხელონ 500°C -მდე (ზოგიერთ შემთხვევაში 2000°C), რომელიც გამოიყენება ელექტროენერჯის მისაღებად, მასალების დასამზადებლად და გასაწმენდად. ხშირ შემთხვევაში ასეთი ტემპერატურების მიღება არ მოითხოვება და კონუნალურ-საყოფაცხოვრებო მეურნეობისათვის საკმარისია მოწყობილობები 100°C -მდე.

დაბალტემპერატურული ჰელიომოწყობილობებში ფართოდ გავრცელებულ კოლექტორის ტიპს წარმოადგენს მზის ენერჯის ბრტყელი კოლექტორი (ნახ. 2.13). მზის სითხიანი ბრტყელი კოლექტორი შედგება შემდეგი ელემენტებისაგან: 1-შემინული ზედაპირი; 2-სხივების მშთანთქავი ზედაპირი მასში ჩამონტაჟებული მილებით სითხის შესათბობად (აბსორბერი); 3-კორპუსი; 4-თბოიზოლაცია; 5-თბოგადამტანის მიმწოდებელი. მზის ენერჯის ბრტყელი კოლექტორი მუშაობს სათბურის ეფექტის პრინციპით.



ნახ. 2.13. მზის კოლექტორის სქემა.

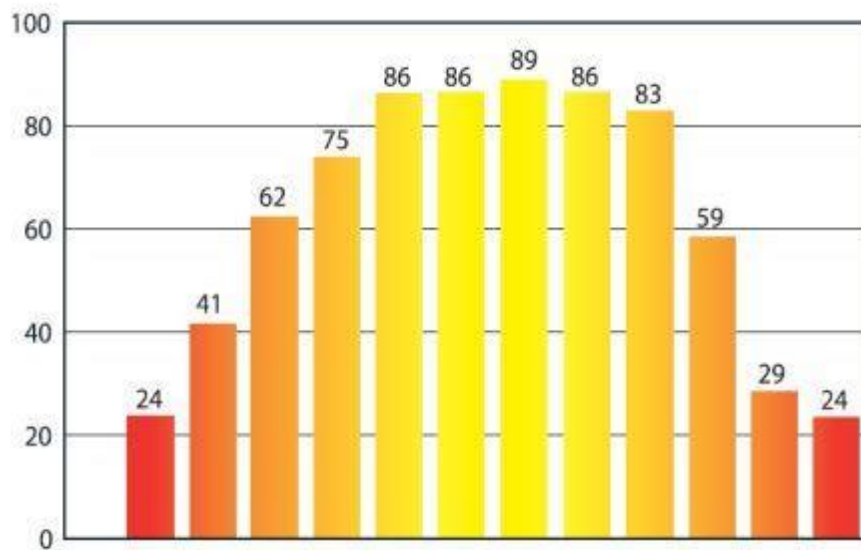
ამ ეფექტის ფიზიკური არსი მდგომარეობს იმაში, რომ მზის გამოსხივება ეცემა ბრტყელი კოლექტორის ზედაპირზე, რომელიც დაფარულია მზის სხივებისათვის გამტარი მასალით. სხივადი ენერგია პრაქტიკულად დანაკარგების გარეშე აღწევს თბური კოლექტორის შიგნით და ათბობს სითბოსმიმღებს. რადგან მზის გამოსხივების ინტენსივობა დედამიწის პირობებში ძირითადად მოთავსებულია 0,4 მკმ - 1,8 მკმ სპეციალურ ინტერვალში, ამიტომ გამჭირვალე ზედა ფენად გამოყენებულია ჩვეულებრივი მინა, რომლის გამტარებლობის კოეფიციენტი ამ სპექტრალურ ინტერვალში 95%-მდეა. კოლექტორის ქვედა ნაწილში მოთავსებული სითბოს მიმღები წარმოადგენს აბსორბციულ ზედაპირს, რომლის შთანთქმის კოეფიციენტი 90%. მინა ხასიათდება გატარების დაბალი კოეფიციენტით, ეს კი იწვევს სათბურის ეფექტს, რადგან მინის ქვეშ დაგროვილი ენერგია იწვევს თბომიმღების ტემპერატურის გაზრდას. თუ გარდაქმნილი ენერგია არ გამოდის კოლექტორიდან თბოგადამტანის მიერ, მაშინ ეს ტემპერატურა აღწევს 160 გრადუსს.

ბრტყელი კოლექტორის პრინციპიალური უპირატესობა სხვა სახის კოლექტორებთან შედარებით მდგომარეობს იმაში, რომ მათ შეუძლიათ მიიღონ როგორც პირდაპირი, ასევე გაბნეული სახის მზის ენერგია. მზის სხივები ძლიერი ღრუბლიანობისა და დაბალი ტემპერატურის დროსაც მიიღება კოლექტორის მიერ. სპეციალური თბომცვლელი იჭერს მზის სხივებს და სითბოს გადასცემს მიღებულ მოთავსებულ სითხეს. გათბობის სისტემის მილსადენები ახდენენ სითბოს ტრანსპორტირებას ცხელი წყლის ავზში.

„Initiative Solarwaerme Plus“ ორგანიზაციის მონაცემებით, საქართველოში ის სახლები, რომლებიც აღჭურვილი არიან ანალოგიური მოწყობილობებით, მაისიდან ოქტომბრამდე მოგვცემენ 100% ენერგიის ეკონომიას წყლის გათბობაზე. მარტში, აპრილსა და ოქტომბერში მზე გვაძლევს საჭირო სითბოს ნახევარს. წლის ცივ პერიოდში, ნოემბრიდან თებერვლამდე წყლის შეთბობაზე დახარჯული ენერგიის 6-48% მოდის მზის ენერგიაზე

სასარგებლო ენერგია, რომელიც შეიძლება მივიღოთ კოლექტორის საშუალებით დამოკიდებულია მთელ რიგ ფაქტორებზე. მათ შორის მთავარი მნიშვნელობა ენიჭება სითბოს მოხმარების სწორ შეფასებას, რაც საშუალებას მოგვცემს სწორად

დავაპროექტოთ ჰელიომოწყობილობა. საქართველოს კონკრეტულ რეგიონში მოსული მზის ენერჯის საერთო რაოდენობა იცვლება დიაპაზონში 900-1800 კვტ.სთ/მ².წ. საშუალოდ საქართველოში 1მ² ფართობზე წლის განმავლობაში მოსული მზის ენერჯის სიდიდე აღწევს 1300 კვტ.სთ, რაც შეესაბამება მიახლოებით 130 ლიტრ დიზელის ან 130 მ³ ბუნებრივი აირის ენერჯოტევადაობას. ამასთან მნიშვნელობა აქვს კოლექტორის დახრის კუთხესა და ორიენტაციას. ასევე ჰელიომოწყობილობის ეკონომიური რეჟიმი მოითხოვს დანადგარის კომპონენტების ზუსტ განსაზღვრას.



ნახ. 2.14. მზის სითბური ენერჯის განაწილება საქართველოს ტერიტორიაზე თვეების მიხედვით პროცენტებში.

სწორად კონსტრუირებულმა კოლექტორულმა ჰელიოდანადგარებმა, ერთმანეთთან შეთანხმებული შეთანწყობისას, შესაძლებელია მოგვცეს ყოველწლიური 50-90% ენერჯოეკონომია კერძო სახლებში ცხელი წყლის მისაღებად. სახლებში ენერჯის დაბალი მოხმარებით, შესაძლებელია 45% ენერჯოეკონომია ცხელი წყლის მომზადებისა და გათბობისათვის. ამათან ზაფხულის თვეებში არ არის საჭირო სითბოს დამატებით წყაროს გამოყენება. წლის დანარჩენ თვეებში შენობების გათბობისათვის დამატებით შეიძლება გამოყენებული იქნას სითბოს დამოუკიდებელი წყარო - საქვაბე მოწყობილობა გაზზე, თხევად საწვავზე და სხვა.

ენერჯის სხვა ცნობად წყაროებს შორის მზე წარმოადგენს ჩვენი პლანეტის განახლებადი ენერჯო რესურსების წყაროს, ე.ი. ეს ენერჯია პრაქტიკულად უღევი სხვა ყველა ტრადიციულ წყაროებთან შედარებით. მზის ენერჯია არ საჭიროებს მოპოვებას და ტრანსპორტირებას. იგი უხმაურო და არამავნებელია და არ არღვევს პლანეტის თბურ წონასწორობას. მზის ენერჯის გამოყენებით შეიძლება 90%-მდე ტრადიციული სათბობის ეკონომია ცხელი წყლის მისაღებად და 50%-მდე ეკონომია გათბობის მიზნით. ე.ი. მზის ენერჯია წარმოადგენს მომავალი ათასწლეულში ძირითად სახეს.

მზის კოლექტორი დანიშნულია მზის ენერჯის სითბურ ენერჯიაში გარდასაქმნელად, სხვადასხვადანიშნულების ცხელი წყლის მისაღებად. შთანთქმის მაღალი კოეფიციენტის გამო (95%-ზე მეტი) ვაკუმური მზის კოლექტორი ეფექტურად მუშაობს პრაქტიკულად მთელი წლის განმავლობაში (ბრტყელი კოლექტორი დაახლოებით 9 თვე). დარტყმის გამძლე მინა მდგრადად მუშაობს სეტყვისა და სხვა მყარი საგნების მოხვედრისას, ხოლო გაყინვის დაბალი ტემპერატურის მქონე სითხე (გლიკოლის ხსნარი) უზრუნველყოფს კოლექტორის მუშაობას - 50°C ტემპერატურამდე.

მზის კოლექტორების ძირითადი სახეა ბრტყელი და ვაკუმურ მილოვანი. ბრტყელი კოლექტორები ფართოდ გამოიყენება დაბალი ღირებულების გამო. მილოვან ვაკუმური კოლექტორები ძვირადღირებულია და ხასიათდებიან მაღალი მწარმოებლობით. ისინი ფართოდ გამოიყენებიან ევროპაში უკვე ოცი წელია. ვაკუმურ კოლექტორებს აყენებენ როცა საჭიროა მაღალი ტემპერატურის მიღება ან კომპლექსურ სისტემაში ცხელი წყლის მისაღებად და შენობების გასათბობად.

ბ) მზის ქსელური ელექტროსადგურები. მზის ქსელური ელექტროსადგურები მზის გამოსხივების ენერჯიას გარდაქმნიან ელექტრულ ენერჯიად და მიაწოდებენ მას ელექტროქსელურ კომპონენტებს ან იმ ობიექტს, სადაც განლაგებულია მზის ელექტროსადგურები (ეს შეიძლება იყოს ქარხანა, რკინიგზის სადგური, საავადმყოფო, სკოლა, სასტუმრო, საცხოვრებელი სახლი და სხვა).

მზის ელექტროსადგურების შემადგენლობაში შედის მზის მოდულების ველი და ინვერტორი ან ინვერტორები. ასევე აუცილებლობის შემთხვევაში ტრანსფორმატორი, რომელიც დანიშნულია ძაბვის ასამაღლებლად ინვერტორიდან ქსელამდე.

მზის მოდულები შეიძლება განლაგდეს:

- მიწის ცალკე ნაკვეთზე;
- სამრეწველო შენობის ბრტყელ სახურავზე;
- მაღალი შენობების ფასადის კედლებზე;
- კონსოლური ფარდულის სახით პარკინგებში ან საზოგადოებრივი ტრანსპორტის გაჩერებაზე.

მზის პანელების საყრდენის კონსტრუქცია შეიძლება იყოს ფიქსირებული ან გააჩნდეს მიმყოლი მექანიზმი მზის მიმართ, რაც ამალღებს ელექტროსადგურის წარმადობას 30-40%.

მზის ქსელური ელექტროსადგურის რეალიზაციის მაგალითს წარმოადგენს 44 კვტ სიმძლავრის სადგური, აგებული ქარხანა „ხველის“ ტერიტორიაზე და ემსახურება ამ ქარხნის მოთხოვნებს. მუშავდება 1 მვტ და 5 მვტ სიმძლავრის მზის ელექტროსადგურები, ფიქსირებული საყრდენებით, რომლის ჯამური მზის რადიაცია ჰორიზონტალურ ზედაპირზე შეადგენს 1174 კვტ.სთ/მ².წ.

2.6.3. მილსადენში ნავთობის რეოლოგიური პარამეტრების გაუმჯობესების მიზნით მზის ენერჯის გამოყენების მეთოდები

ენერგოეფექტურობის უზრუნველყოფა, როგორც საყოფაცხოვრებო პირობებში, ასევე ეკონომიკის ყველა სფეროში, წარმოადგენს თანამედროვეობის ერთ-ერთ აქტუალურ პრობლემას. ენერგოეფექტურობა არის ტექნიკური მაჩვენებელი, რომელიც აღწერს ენერჯის ეფექტურად გამოყენების შესაძლებლობებს. ამ მიმართულებით ტრანსპორტზე, მშენებლობაში, სოფლის მეურნეობაში და წარმოების სხვა დარგებში ინერგება ახალი ტექნოლოგიები, რომლებიც უზრუნველყოფენ ენერგოტევადობის შემცირებას წარმოებულ პროდუქციაზე.

მსოფლიო გლობალურ პრობლემებს შორის განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია ენერგეტიკული კრიზისი, რომელიც გამოწვეულია ბუნებრივი არაგანახლებადი

რესურსების (ნავთობი, გაზი და სხვა) ყოველდღიური შემცირებით. ენერგეტიკულ კრიზისთან ერთად მნიშვნელოვანია გარემოს ეკოლოგიური დაზინძურება, რომელიც უშუალო კავშირშია ენერგორესურსების მოხმარებასთან. აქედან გამომდინარე წინა პლანზე გამოდის ისეთი ახალი ტექნოლოგიების შექმნა, რომლებიც ეფექტურად გამოიყენებენ ენერგიის თანამედროვე არაგანახლებად წყაროებს და ეკოლოგიის თვალსაზრისით გარემოსაც არ მიაყენებს ზიანს. ცივილიზაციის ბედი არსებითადაა დამოკიდებული იმაზე, თუ რამდენად რაციონალურად შეუძლია კაცობრიობას გამოიყენოს პლანეტის ბუნებრივი რესურსები და განახლებადი ენერგიის წყაროებზე დაყრდნობით შექმნას მძლავრი ენერგეტიკული ბაზა.

უნდა აღინიშნოს, რომ მსოფლიოს მრავალ ქვეყანაში ენერგიის განახლებადი წყაროები, შეიძლება გახდეს ენერგეტიკის და წარმოების სხვადასხვა დარგების შემდგომი განვითარების გადამწყვეტი ფაქტორი. ამ ქვეყნების რიცხვს მიეკუთვნება საქართველო, რომელიც არ არის მდიდარი ბუნებრივი სათბობენერგეტიკული რესურსებით, მაგრამ მდიდარია ბიომასის, მზის, წყლის და გეოთერმული რესურსებით. გამომდინარე აქედან ძალზე მნიშვნელოვანია მომავალში ქვეყნის სათბობენერგეტიკული ბალანსის მასშტაბები გაიზარდოს არატრადიციული განახლებადი ენერგიის წყაროებით.

ქვეყნის კლიმატური პირობების, განახლებადი ენერგიის წყაროების რესურსების და დღევანდელი ობიექტური პირობების ანალიზის საფუძველზე, განახლებადი ენერგიის მრეწველობის განვითარების პერსპექტივები შემდეგია:

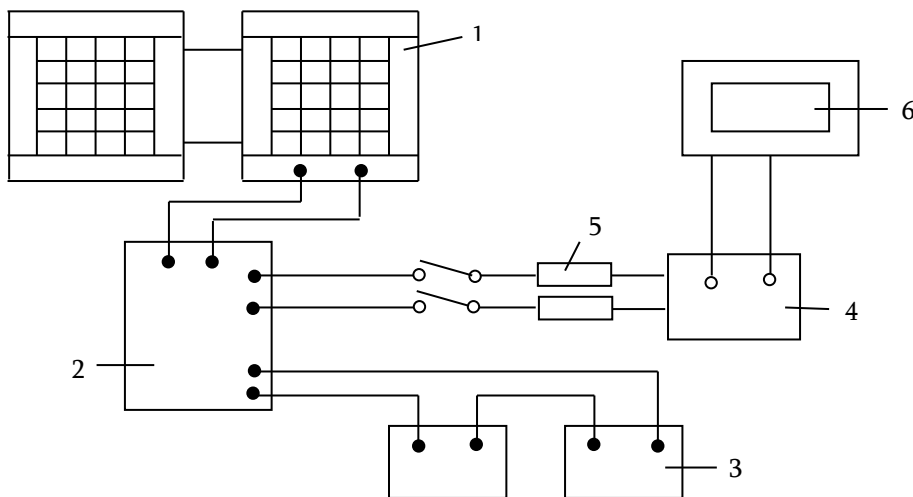
- 1) ცხელი წყლით მომარაგების სისტემებში მზის ენერგიის გამოყენება;
- 2) ფოტოელექტრული გარდამქნელების ბაზაზე მცირე სიმძლავრის ინდივიდუალური ელექტრული კვების წყაროების შექმნა;
- 3) ბიოენერგეტიკული მოწყობილობების შექმნა და გამოყენება;
- 4) მიწისქვეშა გეოთერმული წყაროების ენერგიის გამოყენება.

თავისი სპეციფიკიდან გამომდინარე საქართველო წარმოადგენს ჰელიოენერგეტიკის განვითარების მნიშვნელოვან რეგიონს. ეს განპირობებულია იმით, რომ საქართველოში წელიწადში 250-280 მზიანი დღეა და ჰელიოენერგიამ შეიძლება დააკმაყოფილოს ქვეყნის ენერგომოთხოვნილების 60%. საქართველოს ტერიტორიის 1%

ყოველწლიურად მოსული მზის ენერჯია ექვივალენტურია 10 მლნ. ტონა პირობითი სათბობის.

სამუშაოს მოცემულ ნაწილში განხილულია მზის ენერჯიის გამოყენების პერსპექტივა მილსადენში მოძრავი ნავთობის რეოლოგიური მახასიათებლების გაუმჯობესების თვალსაზრისით. თეორიული კვლევის საფუძველზე, ჩვენს მიერ შერჩეული იქნა თბომცვლელის „მილი მილში“ კონსტრუქცია და დამუშავდა ოპტიმალური ზომების განსაზღვრის მეთოდიკა. თბომცვლელში მუშა სხეულს, ანუ ცხელ თბოგადამტანს წარმოადგენს ცხელი წყალი, როგორც ეკოლოგიურად სუფთა და ეკონომიურად იაფი პროდუქტი. მაგრამ მთავარ ამოცანას წარმოადგენს წყლის გაცხელება განსაზღვრულ ტემპერატურამდე ნაკლები ენერგეტიკული და შესაბამისად ფინანსური დანახარჯებით.

ჩვენს მიერ დამუშავებული იქნა მოწყობილობის კონსტრუქციული სქემა, რომელიც საშუალებას მოგვცემს მილსადენში, ნავთობის შეთბობის მიზნით, (თბომცვლელში ცხელი წყლის მისაღებად) გამოვიყენოთ მზის ენერჯია, რამდენადაც ჰელიოსისტემის გამოყენება ნავთობის რეოლოგიური პარამეტრების გაუმჯობესების მიზნით ამაღლებს ენერგოეფექტურობას ნავთობპროდუქტების გადატუმბვისას.



ნახ. 2.15. ჰელიოენერგეტიკული მოწყობილობის პრინციპიალური სქემა.

სქემაში (სურ. 2.15) ჩართულია მზის ფოტომულაჟი (1), რომელიც მზის სხივად ენერჯიას გარდაქმნის მუდმივი ძაბვის ელექტრულ ენერჯიად. კონტროლიორი (2)

დანიშნულია მზის ბატარეებიდან ელექტრული ენერგია გადასცეს აკუმულატორთა ბატარეას (3). აკუმულატორთა ბატარეა შედგება რამდენიმე ელემენტისაგან, საჭირო ტევადობის და დამაბულობის შესაქმნელად. სქემაში ინვერტორის (4) დანიშნულებაა აკუმულატორიდან მიღებული მუდმივი ძაბვა გარდაქმნას ცვლად ძაბვად. სქემაში ჩართულია ასევე ჩამრთველები და მცველები (5) და ელექტროენერგიის მომხმარებელი (6), რომელიც დანიშნულია წყლის გამაცხელებლად. მიღებული ცხელი წყალი მიეწოდება თბომცვლელში ნავთობის გასათბობად განსაზღვრულ ტემპერატურამდე.

პრაქტიკაში ასეთი სისტემის გამოყენება მიზანშეწონილია შემდეგი მოსაზრებების საფუძველზე:

1. მზის ენერგიის ათვისების პოტენციალი და ჰელიოსისტემის ლოკალური გამოყენების შესაძლებლობა;
2. სწორი ექსპლუატაციისას მზის პანელები ხასიათდებიან ექსპლუატაციის დიდი რესურსით (40 წლამდე);
3. გარემოს არასასურველი პირობები - თოვლი, ქარბუქი, სეტყვა, წვიმა არ მოქმედებს მზის ბატარეის მუშაობაზე. სისტემა მოითხოვს მინიმალურ მომსახურებას - მოითხოვს მხოლოდ პანელის ზედაპირის გაწმენდას მზის სხივების ეფექტური დაჭერის მიზნით.
4. იმისათვის, რომ ფოტოელექტრულმა სისტემამ გამოიმუშაოს ელექტროენერგია, არაა აუცილებელი მზის პირდაპირი რადიაცია, რადგან თანამედროვე მზის პანელები კარგად შთანთქავენ მზის გაფანტულ სინათლეს. უნდა გავითვალისწინოთ მხოლოდ ის ფაქტი, რომ ღრუბლიან ამინდში მზის პანელების მიერ ელექტროენერგიის გამომუშავება უფრო ნაკლებია, ვიდრე მზიანში.

გამოკვლევები გვიჩვენებენ, რომ ძირითადი რეოლოგიური მახასიათებლების ოპტიმალური მნიშვნელობები, რომლებიც განსაზღვრავენ მილსადენში ნავთობის მოძრაობის პროცესის ეფექტურობას მიიღწევა შეთბობის 45-52°C ტემპერატურულ დიაპაზონში.

დამუშავებული მეთოდიკის საფუძველზე, ვიცით რა ნავთობის საწყისი და საბოლოო ტემპერატურა თბომცვლელში, შესაძლებელია განვსაზღვროთ შეთბობაზე

დახარჯული სიტბოს რაოდენობა, რომლის მიხედვითაც ვირჩევთ მზის ფოტომოდულების სიმძლავრეს და გამოვთვლით ჰელიოსისტემის გამოყენების ენერგოეფექტურობას მილსადენში ნავთობის შეთბობის მიზნით.

2.7. მეორე თავის დასკვნები

1. შემოთავაზებულია მაღალი სიბლანტის ნავთობის ენერგოდამზოგი და ეკოლოგიურად უსაფრთხო ტრანსპორტირების მეთოდი „განაწილებული შეთბობით, რომელიც ითვალისწიებს ბუნებრივი სიტბოს გამოყენებას, ტრასაზე თბური ტუმბოებით და კოგენერაციული მოწყობილობებით აღჭურვილი შემთბობი პუნქტების განლაგებით.

2. ნაჩვენებია, რომ თბური ტუმბოების და სიტბოს სხვა ბუნებრივი წყაროების გამოყენება შემთბობ პუნქტებში, საშუალებას იძლევა მინიმუმამდე დავიყვანოთ გადატუმბვის ენერგეტიკული დანახარჯები და შევამციროთ მავნე სიტბური ზემოქმედება გარემოზე.

3. დამუშავებული მეთოდიკა საშუალებას იძლევა უფრო საფუძვლიანად გავიანგარიშოთ მაღალი სიბლანტის ნავთობის ტრანსპორტირების რეჟიმი არაიზოთერმული დინების შემთხვევაში.

4. ბლანტი ნავთობის გადატუმბვისას, მილსადენების დაპროექტებისას აუცილებლად უნდა გავითვალისწინოთ მილის განიკვეთში ტემპერატურის განაწილების თავისებურებები.

თავი 3. ნავთობის ტრანსპორტირების პროცესის ექსპერიმენტალური გამოკვლევა

3.1. ნავთობის რეოლოგიური თვისებების გამოკვლევა

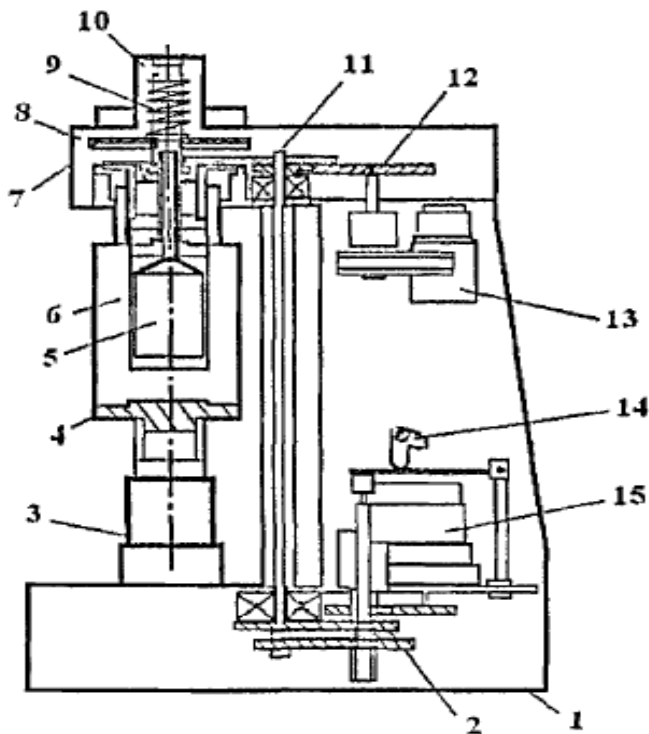
3.1.1. ნავთობის რეოლოგიური თვისებების ექსპერიმენტალური გამოკვლევის მეთოდика

ნავთობის რეოლოგიური თვისებების განსაზღვრის მიზნით წინასწარი ექსპერიმენტების ჩასატარებლად გამოიყენება როტაციული სიბლანტის მზომი BCH-3. კაპილარულისაგან განსხვავებით როტაციული რეომეტრები ქმნიან სიჩქარეების და დეფორმაციების ერთგვაროვან ტანს, რომელშიდაც უშუალოდ იზომებიან საჭირო მახასიათებლები და რაც ზრდის გაზომვების სიზუსტეს. კოაქსიალური ცილინდრების ტიპის სისტემები განსაკუთრებით ესადაგებიან გაზომვებს ძვრის სიჩქარის როგორც დაბალ, ასევე მაღალ სიჩქარეებზე დაბალი და მაღალი სიბლანტის მქონე სითხეებისათვის. გარე ცილინდრზე პერანგის არსებობა უზრუნველყოფს ნიმუშის ტემპერატურის კარგ კონტროლს გაზომვების პროცესში. რგოლურ ღრეჩოს აქვს მუდმივი სიგანე, რაც გვამლევს საშუალებას გამოცდები ჩავატაროთ ისეთ ნიმუშებზე, რომლებიც შეიცავენ ღრეჩოს ზომაზე $1/3$ – ით მცირე ნაწილაკებს. მაშინ როდესაც ზოგიერთი საზომი სისტემის შესავსებად, განსაკუთრებით მუნი – ევერტის კონსტრუქციის, საჭიროა ნიმუშია მცირე მოცულობა (სულ რამდენიმე კუბური სანტიმეტრი), მაშინ, როდესაც განსახილველი ტიპის ყველა სხვა სისტემებისათვის საჭირო ნიმუშის რაოდენობა 5 – დან 50 სმ³ – მდე მერყეობს [133].

რეომეტრი BCH-3 (ნახ. 3.1) შეიცავს კიდულ ცილინდრს (5), მასრას (6), შკალას (7), ზამბარას (9), მბრუნავ თავს (10). ნავთობი ისხმება ჭიქაში (4), რომელიც ეყრდნობა ტელესკოპურ მაგიდას (3). გილზა (6) ბრუნვით მოძრაობაში მოდის ძრავიდან (15) რედუქტორით (2), ლილვით (11) და კბილანების სისტემით. ძვრის სტატიკური ძაბვის გასაზომად ხელსაწყოს აქვს ელექტროძრავი (13), რომელიც რედუქტორის გადამრთველის (14) შესაბამის მდგომარეობაში კბილანის (12) გავლით აბრუნებს გარე ცილინდრს სიხშირით 0,2 ბრ/წთ. ხელსაწყოს კონსტრუქცია უზრუნველყოფს

გამოსარეცი სითხის სტრუქტურის წინასწარ დაშლას ცილინდრის (6) დიდი სიჩქარით ბრუნვის შედეგად [83].

ცდების ჩატარების მიმდევრობა შემდეგია: დინამიკური სიბლანტის და ძვრის დინამიკური ძაბვის გასაზომად გამოსაკვლევი ბლანტი ნავთობი ისხმება ჭიქაში და ხდება მისი შერევა 600 ბრ/წთ ბრუნვის სიხშირით იმისათვის, რომ მოხდეს მისი სტრუქტურის დაშლა, შემდეგ კი ხდება ხელსაწყოს სკალის მობრუნების კუთხის მდგრადი მაჩვენებლების მოხსნა 600, 400, 300, და 200 ბრ/წთ -ზე (მობრუნების კუთხის მდგრად მნიშვნელობად აიღება ის მაჩვენებლები, რომლებიც არ განიცდიან ცვლილებას მასრას3 წუთის განმავლობაში ბრუნვის შედეგად). ექსპერიმენტი ტარდება გამოსაცდელი ნავთობის სხვადასხვა ტემპერატურაზე.



ნახ. 3.1. როტაციული სიბლანტის მზომის სქემა:

1 - კორპუსი, 2 - რედუქტორი, 3 - ტელესკოპური მაგიდა, 4 — ჭიქა, 5 - კიდეული ცილინდრი, 6 - მასრა, 7 - სკალა, 8 - საჭვრეტი ფანჯარა, 9 - ზამბარა, 10 - მბრუნავი თავი, 11- ლილვი, 12- კბილანა, 13-ელექტროძრავი, 14- გადამრთველი, 15-ძრავი.

ცდების შედეგები მუშავდება ი.მ. ბელკინის, გ.ვ. ვინოგრადოვის და ა.ი. ლეონოვის მიერ მცირეღრეხოიანი სიბლანტის მზომი ხელსაწყოებისათვის რეკომენდირებული ცნობილი მეთოდის [45] მიხედვით. გაზომვის შედეგების დამუშავების შერჩეული მეთოდიკა წარმოდგენილია ღრეჩოში γ სიჩქარის საშუალო გრადიენტის დამოკიდებულებით ძვრის ძაბვაზე τ .

ძვრის მხები ძაბვები ისაზღვრებოდა ფორმულით [101]:

$$\tau = \frac{M}{2\pi R_{BH}^2 h_v}, \quad (3.1)$$

სადაც M - შიგა ცილინდრის მბრუნის მომენტი; R_{BH}^2 - შიგა ცილინდრის რადიუსია; h_v - შიგა ცილინდრის სიმაღლეა.

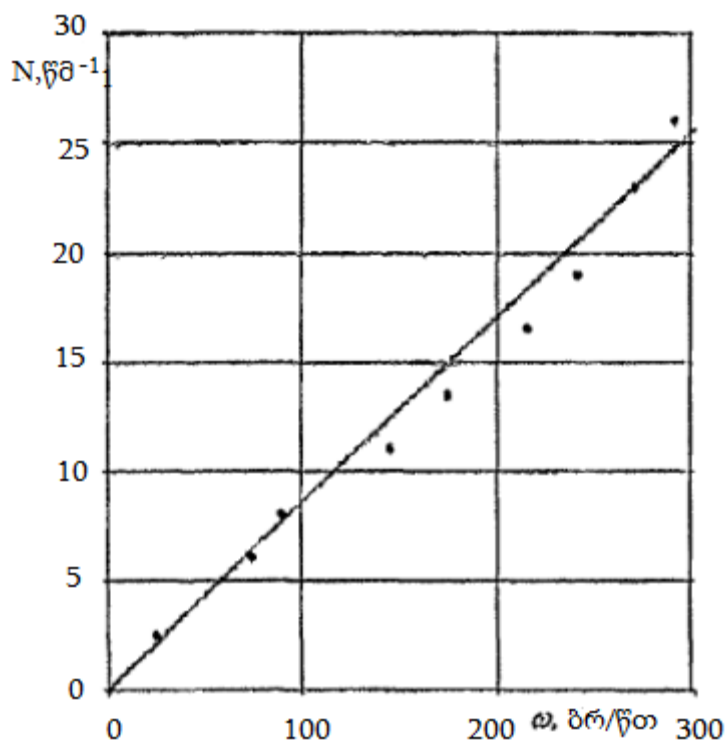
სიჩქარის გრადიენტი

$$\dot{\gamma} = \frac{2\pi R_{BH} N}{\delta}, \quad (3.2)$$

სადაც N - ცილინდრის კუთხური სიჩქარეა; δ - ღრეჩოა ცილინდრებს შორის.

კალიბრაციის სითხედ მიღებულია გლიცერინი. როტაციული სიბლანტის მზომებისთვის მიღებული შედეგების სანდოობა ბევრ ფაქტორზეა დამოკიდებული. მიღებული შედეგების სანდოობის შეფასების გავრცელებულ ხერხს ხელსაწყოს დაკალიბრება წარმოადგენს. რასაც წინასწარ ახდენენ „უბელოდეს“ ტიპის დამკალიბრებელი კაპილარული სიბლანტის მზომით 20°C ტემპერატურაზე და უდრის 1,42 პა.წმ, რაც მხოლოდ 4% - ით განსხვავდება ცხრილური მნიშვნელობისაგან [86].

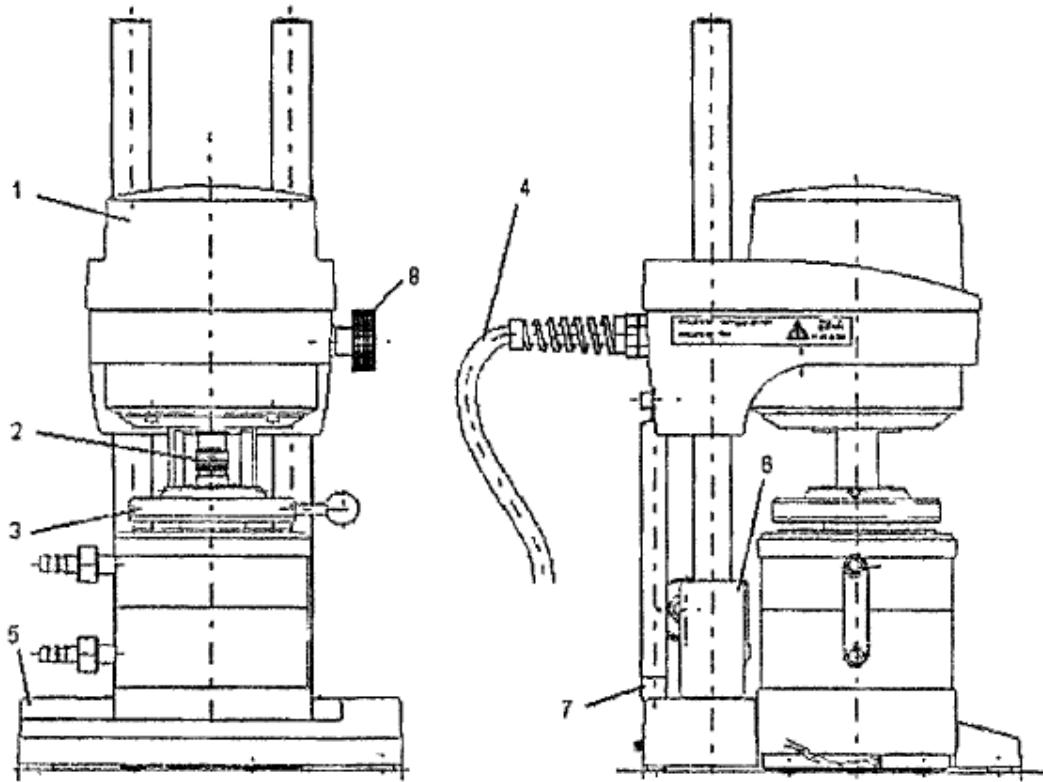
შემდეგ კი იხსნება შიგა ცილინდრის ბრუნვის სიჩქარის დამოკიდებულება ცილინდრის ბრუნვის იმ სიხშირეზე, რომელიც მიიღება ელექტროძრავის პასპორტში მოცემული მახასიათებლების მიხედვით. კალიბრაციის დამოკიდებულება წარმოადგენს კოორდინატთა სათავედან გამომავალ სწორს (ნახ.3.2).



ნახ.3.2. როტაციული სიბლანტისმზომის კალიბრაციის მახასიათებელი

ნავთობის რეოლოგიური თვისებების შესწავლის დროს მიღებული ექსპერიმენტალური მონაცემების დასაბუთების მიზნით იყენებენ RheotestRN4.1 ტიპის როტაციულ სიბლანტისმზომს (ნახ.3.3).

სიბლანტისმზომი შედგება მზომი ამპრავისაგან (1) სწრაფადჩასახსნელი შემაერთებლით (2) როტორის ან კონუსისათვის და მზომი მილის შემაერთებლისაგან (3), მართვის ბლოკის (4) ჩასართავი შემაერთებელი კაბელისაგან და მიმართველი საზომი ფირფიტის (6) მქონე შტატივისაგან (5). საზომი ამპრავი იძლევა გაზომვების ჩატარების საშუალებას ძვრის ძაბვის და სიჩქარის რეგულირებადი მნიშვნელობების პირობებში.



ნახ.3.3. როტაციული სიბლანტისმზომი Rheotest RN4.1:

1 - საზომი მოწყობილობა; 2 - სწრაფადჩასახსნელი შემაერთებელი; 3 - მზომი მილის შემაერთებელი; 4 - შემაერთებელი კაბელი; 5 - შტატივი; 6 - მიმმართველი; 7 - ამორტიზატორი; 8 - ხრახნი მოძრავი თავით

როტორის ან კონუსის სწრაფადჩასახსნელი შემაერთებელის (2) და მზომი მილის (3) დახმარებით შესაძლებელია მზომი ხელსაწყოს საზომი სისტემის შეცვლა ცილინდრით ან კონუს-ფირფიტით. ეს სწოლია აგრეთვე მაშინაც, როდესაც საზომი მოწყობილობა იცვლება კონუს-ფირფიტით და ცილინდრით. გამოსაკვლევი ნავთობი (30 მლ) თავსდება საზომ ჭიქაში. როტორი ერთდება ამძრავ ლილვთან (როტორის კონუსის წვერო შედის სწრაფადჩასახსნელი ქუროს კონუსის მოსათავსებელ ნახვრეტში ქუროს მილისას მაღლა აწეულ მდგომარეობაში). შემდეგ საჭიროა მაღლა ავწიოთ შევსებული საზომი ჭიქა როტორის საშუალებით შემზღუდველამდე (შემზღუდველთან ჭიქას უნდა შეეძლოს თავისუფლად ბრუნვა). საზომი ჭიქა ფიქსირდება შემზღუდველთან. შემდეგ ამძრავი ცილინდრული გამზომი მოწყობილობით თავსდება

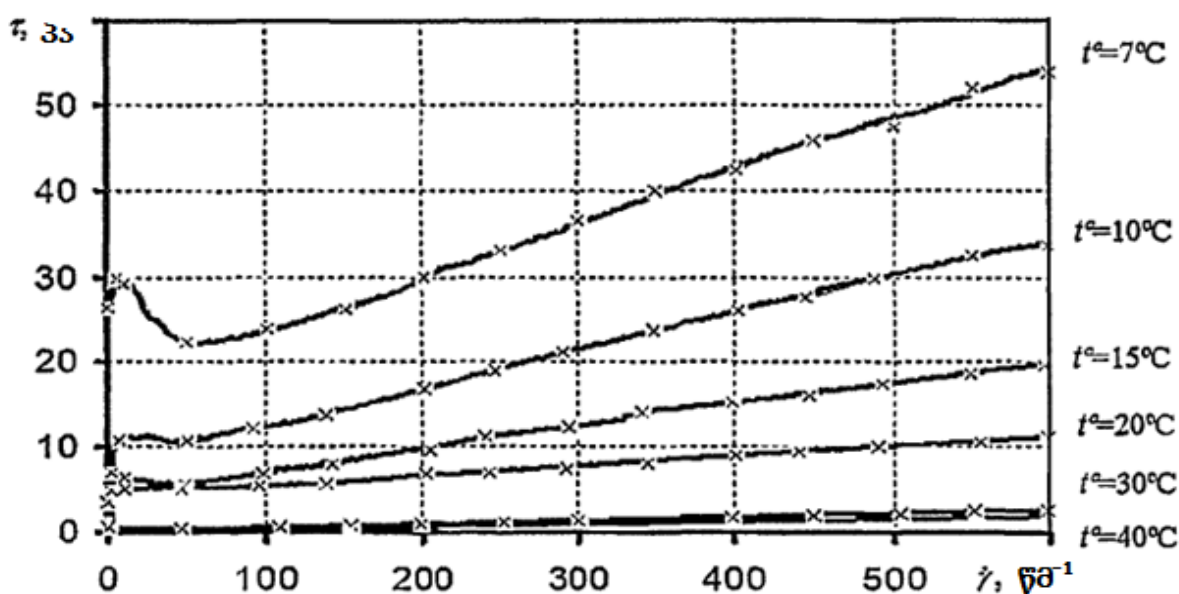
თერმოსტატირების ჭურჭელში, რომლის შემდეგაც ხდება გაზომვა. ხელსაწყოს დემონტაჟი გაზომვების დასრულების შემდეგ ხდება უკუმიმართულებით.

3.1.2. ბლანტი ნავთობის რეოლოგიური თვისებების კვლევის შედეგები

ნახაზზე 3.4 წარმოდგენილია ნავთობის რეოლოგიური მრუდები 5 - დან 40 °C ტემპერატურებზე. ექსპერიმენტალური მონაცემების დამუშავება ხდებოდა უმცირესი კვადრატების მეთოდის გამოყენებით. ეს მრუდები აღიწერებიან ბალკლი - გერმელის არაწრფივი განტოლებებით

$$\tau = \tau_0 + k' \cdot \gamma^n, \quad (3.3)$$

სადაც τ_0 - ძვრის საწყისი ძაბვაა; k' - კოეფიციენტი, რომელიც დამოკიდებულია სისტემის კონსისტენტურობაზე: რაც მეტია სიბლანტე, მით მეტია k' ; n - ხარისხის მაჩვენებელია და დამოკიდებულია რიგ ფაქტორებზე, კერძოდ, ძვრის სიჩქარეზე (სიჩქარის გრადიენტი).



ნახ.3.4. რეოლოგიური მრუდები ნავთობის სხვადასხვა ტემპერატურაზე

$\tau = f(\gamma)$ დამოკიდებულების ანალიზი აჩვენებს, რომ თუ ნავთობის ტემპერატურა მეტია 20°C - ზე, მისი სიბლანტისმზომის ღრეჩოში გადინების შემთხვევაში ამჟღავნებს ნიუტონისეული სითხის თვისებებს. ხოლო თუ ტემპერატურა ნაკლებია 20° C - ზე დინების ხასიათი იცვლება: დინება იწყება მხოლოდ მასზე გარკვეული ძალით ზემოქმედების შედეგად და იგი განსაზღვრავს ძვრის იმ საწყის ძაბვას, რომელიც ახასიათებთ არანიუტონისეულ სითხეებს.

ცდის შედეგების ანალიზური სახით წარმოდგენა ხდება რეგრესიული ანალიზის მეთოდით [45], სადაც მოდელის სახით ნაგულისხმევია შემდეგი დამოკიდებულება:

$$\mu = \mu_0 e^{AT}. \quad (3.4)$$

ამ განტოლების წრფივად გარდასაქმნელად საჭიროა გავალოგარიტმით გამოსახულების ორივე მხარე

$$\ln \mu = \ln \mu_0 + AT.$$

თუ აღვნიშნავთ განტოლების მდგენელებს $Y = \ln \mu$, $\beta_0 = \ln \mu_0$, $\beta_1 = A$, $X = T$ მივიღებთ შემდეგ მოდელს

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X + \varepsilon$$

სადაც β_0 და β_1 - მოდელის პარამეტრებია; ε - ექსპერიმენტის ცდომილებაა.

ცხრილი 3.1

წრფივი მოდელის პარამეტრები

Nº	Y_l	$\sum Y_l$	X_l	$\sum X_l$	X_l^2	$\sum (X_l)^2$	$X_l \cdot Y_l$	$(\sum X_l)^2$	$\sum (X_l \cdot Y_l)$
1	0,109	0,227	5	195	25	38025	0,545	38025	2,425
2	0,052		10		100		0,52		
3	0,034		15		225		0,51		
4	0,015		20		400		0,3		
5	0,007		25		625		0,175		
6	0,0047		30		900		0,141		
7	0,0031		40		1600		0,124		
8	0,0022		50		2500		0,11		
9	0,002		60		3600		0,12		

წრფივი მოდელი გამოისახება შემდეგი ფორმით

$$\hat{Y} = b_0 + b_1 X. \quad (3.5)$$

ბადა b_1 კოეფიციენტების განსაზღვრის მიზნით დგება განტოლებათა სისტემა:

$$\begin{cases} b_0 n + b_1 \sum_{i=1}^n X_i = \sum_{i=1}^n Y_i \\ b_0 \sum_{i=1}^n X_i + b_1 \sum_{i=1}^n X_i^2 = \sum_{i=1}^n (X_i \cdot Y_i) \end{cases}$$

განტოლებათა სისტემის ამოხსნის საფუძველზე მიღებულია კოეფიციენტების შემდეგი მნიშვნელობები:

$$b_0 = -2,483 \text{ и } b_1 = -0,0739$$

თუ გამოვიყენებთ უმცირესი კვადრატების მეთოდს, განტოლება მიიღებს სახეს

$$\hat{Y} = -2,483 - 0,0739 \cdot X. \quad (3.6)$$

მიღებული განტოლების სიზუსტის შესაფასებლად ვიყენებთ ფიშერის კრიტერიუმს, ამიასათვის კი საჭიროა ნარჩენების მნიშვნელობების განსაზღვრა, რაც მოცემულია ცხრილში 3.2.

ცხრილი 3.2

წრფივი მოდელის პარამეტრები

№	Y_i	\hat{Y}_i	$Y_i - \hat{Y}_i$	$(Y_i - \hat{Y}_i)^2$	$\sum (Y_i - \hat{Y}_i)^2$
1	0,109	0,018927	0,0901	0,008113	0,013647
2	0,052	0,020815	0,0312	0,000972	
3	0,034	0,022704	0,0113	0,000128	
4	0,015	0,024593	-0,0096	0,00009	
5	0,007	0,026481	-0,0195	0,00038	
6	0,0047	0,02837	-0,0237	0,00056	
7	0,0031	0,032147	-0,029	0,000844	
8	0,0022	0,035924	-0,0337	0,001137	
9	0,002	0,039701	-0,0377	0,001421	

ფიშერის კრიტერიუმი გამოითვლება ფორმულით

$$F = \frac{\sigma_1^2}{\sigma_2^2} = \frac{0,00084}{0,0000436} = 19,226 \quad (3.7)$$

სადაც σ_1^2 და σ_2^2 — შერჩევის დაბალი და მაღალი დისპერსიებია.

ფიშერის კრიტერიუმის მიღებული საანგარიშო მნიშვნელობა ნაკლებია მის ცხრილურ მონაცემებზე [80, 5]5% მნიშვნელობის დონის შემთხვევაში, შესაბამისად

შეიძლება დავასკვნათ, რომ მიღებული დამოკიდებულება ცდის შედეგების ადექვატურია.

ამრიგად, ჰიპოთეზა (3.5) განტოლების არაწრფივობის შესახებ დადასტურდა. შემდეგში ისაზღვრება კ.პირსონის წყვილური კორელაციის კოეფიციენტი

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (3.8)$$

ამისათვის რეგრესიის განტილებას წარმოვადგენთ შემდეგი სახით

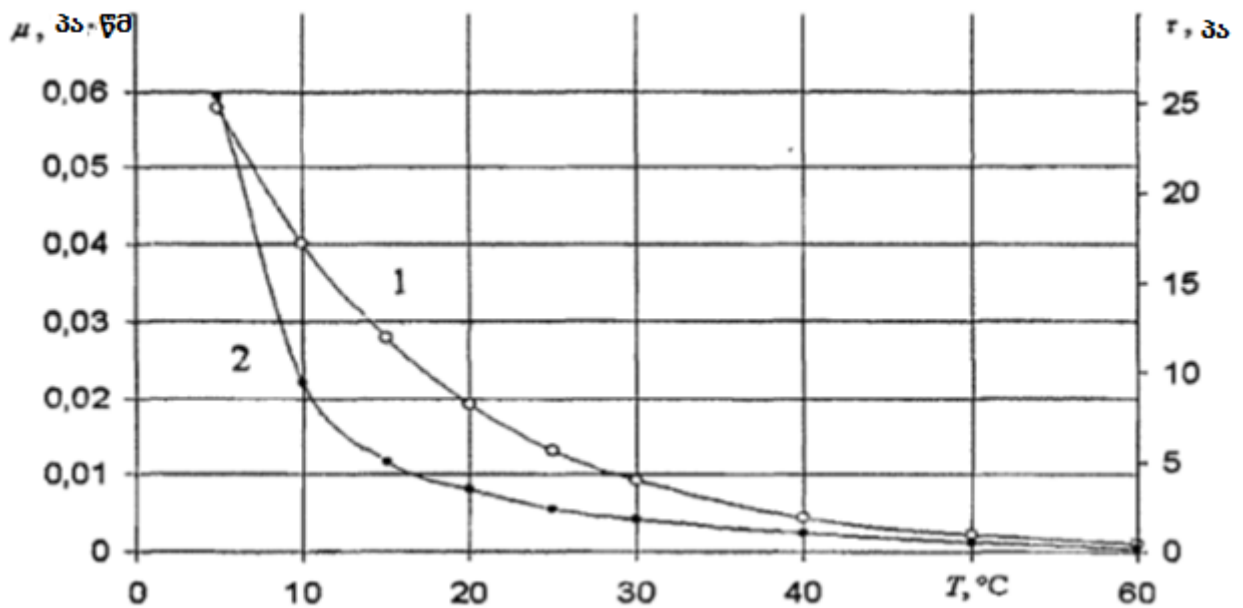
$$\ln \mu = -2,483 - 0,0739T. \quad (3.9)$$

ნავთობის სიბლანტე (200 წმ³-სიხშირეზე) განისაზღვრება ექსპერიმენტული მონაცემების საფუძველზე მიღებული ფორმულით

$$\mu = e^{-2,483 - 0,0739T} = 0,0835e^{-0,0739T}. \quad (3.10)$$

ანალოგიურად განისაზღვრება დამოკიდებულება $\mu = f(T)$ 300, 400, 500, 600 წმ³ ბრუნვის სიხშირეებისათვის..

ნახ.3.5 - მოცემულია $\mu = f(T)$ დამოკიდებულების გრაფიკი.



ნახ. 3.5. დინამიკური სიბლანტის (1) და ძვრის ძაბვის (2) დამოკიდებულება ნავთობის ტემპერატურაზე

ცხრილში.3.3 მოცემულია ექსპერიმენტალური მონაცემების დამუშავების შედეგები.

ცხრილი 3.3

ექსპერიმენტალური მონაცემების დამუშავების შედეგები

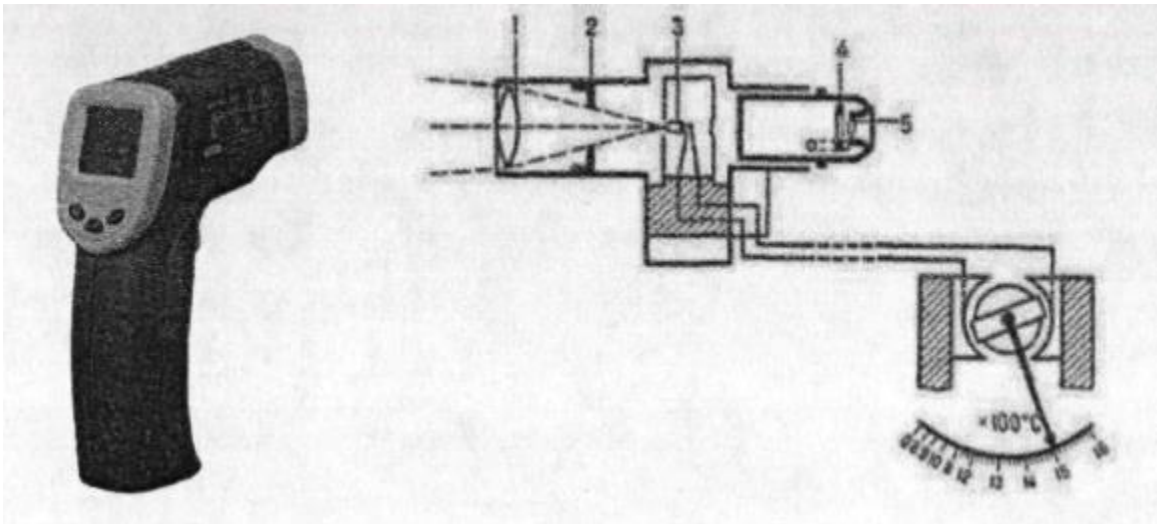
ნავთობის ტემპერატურა, °C	რეგრესიის განტოლება	დისპერსიის მნიშვნელობა σ^2
5	$\tau = 25,4 + 0,00167y^{1,5333}$	0,015
10	$\tau = 9,07 + 0,0252y^{1,0835}$	0,035
15	$\tau = 5,01 + 0,0219y^{1,0221}$	0,006
20	$\tau = 5,31 + 0,001y^{1,3617}$	0,011
25	$\tau = 0,0732 + 0,163y^{0,8474}$	0,0042
30	$\tau = 0,0924 + 0,00761y^{0,9142}$	0,024
40	$\tau = 0,0723 + 0,00681y^{0,8808}$	0,0113
50	$\tau = 0,01 + 0,00492y^{0,8962}$	0,0104
60	$\tau = 0,0524 + 0,00448y^{0,8831}$	0,0092

3.2. სითბოსგაცემის კოეფიციენტის და ჰიდრაულიკური წინააღმდეგობის კოეფიციენტის გამოკვლევა არაიზოთერმული დინების დროს

3.2.1. არაიზოთერმული დინების შემთხვევაში სითბოსგაცემის კოეფიციენტის და ჰიდრაულიკური წინააღმდეგობის კოეფიციენტის გამოკვლევის მეთოდიკა

ექსპერიმენტალური გამოკვლევების მიზანს წარმოადგენს ისეთი დამოკიდებულებების მიღება, რომელიც გაგვიადვილებს ჰიდრაულიკური წინააღმდეგობის კოეფიციენტის და სითბოსგაცემის კოეფიციენტის გაანგარიშებას მილსადენში ბლანტი ნავთობის არაიზოთერმულ რეჟიმზე მოძრაობის შემთხვევაში. მილის კედლის ტემპერატურა იზომება უკონტაქტო ხერხით ინფრაწითელი თერმომეტრით (პირომეტრით) AR-350 (ნახ. 3.6, ა).

უკონტაქტო თერმომეტრის მუშაობის პრინციპი იმ თბური გამოსხივების ძალის გაზომვაში მდგომარეობს, რომელიც მოდის ობიექტიდან უპირატესად ხილული სინათლის და ინფრაწითელი გამოსხივების დიაპაზონში. ხელსაწყოს ოპტიკა აღიქვამს გამოსხივებულ, ანარეკლ და გამავალ თბურ ენერგიას, რომელიც იკრიბება და ფოკუსირდება ლინზაზე 1 (ნახ.3.6, ბ). ხელსაწყოს ელექტრონული სისტემა ინფორმაციას გადასცემს მოწყობილობას 3, რომელიც ითვლის ტემპერატურას და ასახავს მას ეკრანზე. გაზომვის სიზუსტის გასაზრდელად პირომეტრი აღჭურვილია ლაზერის მიზანმაჩვენებლით, რომლის სხივიც უნდა ეცემოდეს ზედაპირის მართობულად.



ა)

ბ)

ნახ. 3.6. სრული გამოსხივების პირომეტრი:

1 - ლინზა; 2 - დიაფრაგმა; 3 - გამოსხივების მიმღები (გარდამქმნელი); 4 - ოკულიარი;
5 - შუქფილტრი.

ხელსაწყოს დაკალიბრება სრულდება NIST (აშშ) და DKD (გერმანია) სტანდარტების შესაბამისად.

ხელსაწყო AR-350–ის ტექნიკური მახასიათებლები

პარამეტრები	პარამეტრების მნიშვნელობები
ტემპერატურის დიაპაზონი	-50...350°C
სიზუსტე	±0,5°C ან ±0,5% დიაპაზონში 0...350°C ±1°C ან ±1% დიაპაზონში -50...0°C
სკალის დანაყოფის ფასი	0,1
ოპტიკური გადაწყვეტა (მანძილის გაზომვის ლაქას ზომასთან ფარდობა)	12:1
განმეორებადობა	1% ან 1°C
რეაგირების დრო	500 მწმ
ტალღის სიგრძე	8...14 მკმ
გამოსხივების კოეფიციენტი	ფიქსირებული 0,95
მუშა გარემოს პირობები	ტემპერატურა: -30...40°C ტენიანობა: 10...95%
კვება	9B ბატარეაანNiCDაკუმულიატორი
ზომები	175x100x49 მმ
მასა	210 გ.

რადგანაც ნავთობის ტემპერატურის ცვლილებაზე დიდ გავლენას ახდენს კლიმატური პირობები (გარემოს ტემპერატურა, ქარის სიჩქარე და ა.შ.) , გამოკვლევები ტარდება წელიწადის შედარებით ცივ თვეში (აპრილში). თვის საშუალო ტემპერატურა შეადგენს 17,7 °C, ხოლო ამ თვის საშუალო მინიმალური ტემპერატურა 12,4 °C. მუდმივ სიდიდეებად აღებული იყო ნავთობსადენის სიგრძე 96 კმ, მილის შიგა დიამეტრი – 309 მმ.

გამოკვლევების პროცესში წნევა ტუმბოს დამჭირხნ მილსადენში იზომებდა წნევის გადამწოდით Rosemount 305IS და აისახება ეკრანზე სადისპეტჩერო პუნქტში.

ტუმბოს მწარმოებლობა ისაზღვრება ტუმბოს მუშა ძრავის ბრუნთა რიცხვზე დამოკიდებულებით და აგრეთვე აისახება სადისპეტჩერო პუნქტში ეკრანზე.

ნავთობის სიმკვრივის გაზომვა ხდება ჩასაყვინთი სიმკვრივისმზომით.

ნავთობის ტემპერატურა იზომება მრავალწერტილიანი ტემპერატურის გადამწოდით.

დაწნევის კუთრი დაკარგვა

$$i = \frac{P_1 - P_2}{l \rho g} \quad (3.11)$$

სადაც P_1 - ტუმბოს მიერ განვითარებული დაწნევაა, პა; P_2 - გაზომილი ნარჩენი დაწნევაა, პა; l - ნავთობსადენის სიგრძეა; ρ — ნავთობის სიმკვრივეა.

ნავთობის მოძრაობის საშუალო სიჩქარე w_{cp} და ჰიდრავლიკური წინააღმდეგობის კოეფიციენტი განისაზღვრება ფორმულით

$$w_{cp} = \frac{4Q}{\pi d^2} \quad (3.12)$$

$$\lambda = \frac{2gd i}{w_{cp}^2} \quad (3.13)$$

სადაც Q - ნავთობსადენის მწარმოებლობაა, მ³/წმ; d - მილსადენის შიგა დიამეტრია, მ.

მონაცემებს ქარის სიჩქარეზე, გარემოს ტემპერატურაზე და ტენიანობაზე იღებენ მეტეოროლოგიური სადგურების ბაზების მიხედვით

ბლანტი ნავთობის ტრანსპორტირების პარამეტრების განსაზღვრის მიზნით ტარდება ერთგვაროვანი ცდების სერია, რომელთა მიზანს გასაზომი სიდიდის საშუალო მნიშვნელობის იმ სიზუსტით პოვნა წარმოადგენს, რომელიც პრაქტიკული მიზნებით არის ნაკარნახევი და წარმოადგენს მოცემულ პარამეტრს. ამასთან, საიმედო მონაცემთა მისაღებად საჭიროა აღებული იქნეს საჭირო რაოდენობის გაზომვების შედეგები.

წინასწარ ჩატარდა რამდენიმე ექსპერიმენტი. ცდების საჭირო რაოდენობის განსაზღვრად გამოყენებული იყო [114] ნაშრომში აღწერილი მეთოდიკა.

შესრულებული გაზომვებიდან განისაზღვრება საშუალო მნიშვნელობა:

$$w_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^n w_i}{n} \quad (3.14)$$

საშუალოკვადრატული გადახრა გამოითვლება ფორმულით

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (w_i - w_{cp})^2}{n-1} \quad (3.15)$$

ცდების რიცხვი განისაზღვრება

$$N = \frac{t_{a(n)}^2 \sigma^2}{m^2 n} \quad (3.16)$$

სადაც $t_{a(n)}$ - სტიუდენტის კოეფიციენტი (მიღებულია, რომ $t_{a(n)=3,18}$) სანდო ალბათობისათვის $a = 0,05$ და პარალელური ცდების რაოდენობისათვის n ; $m = 0,05$ - მოცემული ცდომილება).

ცხრილი 3.5

გაზომვების საჭირო რიცხვის განსაზღვრა

გაზომვის №	Q, მ ³ /დღ.ლ	w _i მ/წმ	w _{საშ} მ/წმ	(w _i -w _{საშ}) ²	σ ²	N
1	6752	1,041952	1,036653	0,000028	0,000021	1
2	6701	1,034235	1,036653	0,0000058	0,000021	1
3	6698	1,033772	1,036653	0,0000083	0,000021	1
1	6511	1,00491	1,004756	2,38·10 ⁻⁸	0,0000026	1
2	6499	1,003058	1,004756	0,0000029	0,0000026	1
3	6520	1,006299	1,004756	0,0000024	0,0000026	1
1	6022	0,92944437	0,930569	0,0000013	0,0000044	1
2	6045	0,932987	0,930569	0,0000058	0,0000044	1
3	6021	0,929283	0,930569	0,0000017	0,0000044	1
1	5799	0,89502	0,890235	0,000023	0,000024	1
2	5769	0,890389	0,890235	2,38·10 ⁻⁸	0,000024	1
3	5736	0,885296	0,890235	0,000024	0,000024	1
1	5301	0,818158	0,820267	0,0000044	0,000048	1
2	5365	0,8280036	0,820267	0,00006	0,000048	1
3	5278	0,814608	0,820267	0,000032	0,000048	1

ცხრილიდან ჩანს, რომ აპროქსიმაცია დამაკმაყოფილებელია, ამიტომ საკმარისია ერთ ცდაში სამი გაზომვის ჩატარება. ამასთან უზრუნველყოფილი იქნება 95%-იანი საიმედოობა.

3.2.2. ჰიდრავლიკური წინაარმდეგობის კოეფიციენტის გამოკვლევის შედეგები

ექსპერიმენტალური გამოკვლევების ჩატარების ეფექტურობის ამაღლების თვალსაზრისით საჭიროა მოვახდინოთ ექსპერიმენტის წინასწარი დაგეგმვა. ამასთან ჩნდება მათი რაციონალური დაგეგმვის საჭიროება, რადგანაც საქმე გვაქვს ტრანსპორტირების პროცესზე მოქმედ მრავალ ფაქტორთან.

ნავთობის ლამინარულ რეჟიმზე მოძრაობისას ჰიდრავლიკურ წინააღმდეგობაზე მოქმედ ძირითად პარამეტრებს წარმოადგენენ: ნაკადის მოძრაობის საშუალო სიჩქარე $w_{საშ}$; მილსადენის დიამეტრი d ; ძვრის მხები ძაბვა τ_0 ; ნავთობის სიბლანტე μ ;

ნავთობის დინების პროცესის გასაკონტროლებელი ფაქტორების შერჩევა ხდება მათი შესაძლებლად მინიმალური რაოდენობის და ნაშრომში [94] მოცემული მოთხოვნების გათვალისწინებით. ფაქტორების ანალიზის შედეგად და დასახული ამოცანების შესაბამისად გამოსაკვლევად შეიჩევა შემდეგი ფაქტორები:

- დაწნევის კუთრი დანაკარგები X_1 ;
- ნაკადის მოძრაობის სიჩქარე X_2 .

მოდელს ექნება სახე

$$y = \beta_0 \cdot X_1^{\beta_1} \cdot X_2^{\beta_2}, \quad (3.17)$$

სადაც y — გამოძახილის ფუნქციაა ($y = \lambda$); $\beta_0, \beta_1, \beta_2$, - ემპირიული კოეფიციენტებია.

შემოთავაზებული მოდელი უნდა იყოს ადექვატური გასაკონტროლებელი ფაქტორების ცვლილების განსაზღვრულ ინტერვალში, რომლის ზღვრებიც დგინდება წინასწარი ექსპერიმენტების შედეგების გათვალისწინებით.

ექსპერიმენტის გეგმა მოცემულია 9^k ტიპის მატრიცას სახით, სადაც 9 – ფაქტორების დონეების ვარირების რიცხვია; k – ფაქტორების რაოდენობაა. საჭირო ცდების რაოდენობა ტოლია $N = 9^2 = 81$. თუ გავითვალისწინებთ, რომ თითოეულ ცდაში საჭიროა სამი გაზომვის შესრულება, მაშინ ექსპერიმენტების რაოდენობა გაიზრდება 243–მდე. მ.მ. პროტოდიაკონოვის და რ.ი. ტედერის მეთოდის [93] გამოყენებით შესაძლოა ცდების რაოდენობა შემცირდეს 27–მდე, ამასთან შენარჩუნდეს გაზომვების პრაქტიკული სიზუსტე.

ექსპერიმენტის გეგმა ბლანტი ნავთობის ლამინარულ რეჟიმზე მოძრაობის შემთხვევაში

		W, მ/წმ								
		0,174	0,171	0,167	0,164	0,155	0,150	0,148	0,145	0,136
i, მ/მ	0,00022						6			
	0,00021			3						
	0,000198								8	
	0,000192							7		
	0,000172	1								
	0,000171				4					
	0,000169									9
	0,000157		2							
	0,000148					5				

ექსპერიმენტის გეგმის მატრიცის და მიღებული შედეგების მიხედვით ვსაზღვრავთ წრფივი მოდელის კოეფიციენტების მნიშვნელობებს

$$y = 0,0439 \cdot X_1^{8,2 \cdot 10^{-5}} \cdot X_2^{-5,71}. \quad (3.18)$$

მიღებული ფორმულის ანალიზი აჩვენებს, რომ დაწნევის კუთრი დანაკარგების გაზრდით ჰიდრავლიკური წინააღმდეგობის კოეფიციენტი იზრდება, ხოლო ნავთობის მოძრაობის სიჩქარის გაზრდით – კოეფიციენტი მცირდება.

2.4.1. ქვეთავში მოცემულია ნავთობის ლამინარულ რეჟიმზე მოძრაობისას ჰიდრავლიკური წინააღმდეგობის კოეფიციენტის განსასაზღვრი ფორმულა (2.37).

N კოეფიციენტის რიცხვითი მნიშვნელობა ბლანტი ნავთობისათვის განისაზღვრება ექსპერიმენტალურად. გარდავქმნათ გამოსახულება (2.37) შემდეგი სახით:

$$\text{აღვნიშნოთ } F = \frac{1}{N}$$

მივიღებთ

$$\frac{\lambda Re}{64} = 1 + FI \quad (3.19)$$

დავუშვათ

$$y = \frac{\lambda Re}{64}; \quad b_0 = 1; \quad b_1 = F;$$

$$y = b_0 + b_1 H.$$

თუ გამოვიყენებთ უმცირესი კვადრატების მეთოდს, $y = f(F)$, მივიღებთ

$$S = \sum_{i=1}^n (y - f(F))^2 \rightarrow \min$$

მინიმუმის პირობა S -ისათვის იქნება შემდეგი:

$$\frac{\partial S}{\partial b_0} = -2 \sum_{i=1}^n (y - b_1 F - b_0) = 0 \tag{3.20}$$

$$\frac{\partial S}{\partial b_1} = -2 \sum_{i=1}^n (y - b_1 H_i - b_0) H_i = 0 \tag{3.21}$$

გამოვსახოთ განტოლებები (3.21) და (3.22) შემდეგი სახით

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^n y_i = b_1 \sum_{i=1}^n H_i + n b_0 \\ \sum_{i=1}^n y_i H_i = b_1 \sum_{i=1}^n (H_i)^2 + b_0 \sum_{i=1}^n H_i \end{cases} \tag{3.22}$$

მაშის F -ის განსასაზღვრად მივიღებთ შემდეგ გამოსახულებას

$$b_1 = F = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{\lambda_i Re_i}{64} - n}{\sum_{i=1}^n (H_i)^2} \tag{3.23}$$

თუ ჩავსვამთ მდგენელების მნიშვნელობებს (3.23) განტოლებაში (ცხრილ 3.7-ში მოცემულია ექსპერიმენტალური მონაცემების დამუშავების მაგალითები), მივიღებთ $F = 0,105$. საიდანაც ვიპოვით N კოეფიციენტის მნიშვნელობას.

ცხრილი 3.7

ექსპერიმენტალური მონაცემების დამუშავების შედეგები

№	$W_{\lambda\theta}$ θ/θ	$i, \theta/\theta$	λ	Re	H	λ_p
1	0,174	0,00022	0,0442	2265	1,528	0,0328
2	0,176	0,00021	0,0421	2298	1,416	0,0320
3	0,167	0,0002	0,0426	2185	1,673	0,0344
4	0,155	0,00019	0,0434	2020	1,791	0,0377
5	0,150	0,00017	0,0461	1954	1,841	0,0391
6	0,157	0,00018	0,0434	2047	1,754	0,0370
7	0,149	0,00017	0,0469	1938	1,873	0,0395
8	0,145	0,00015	0,0423	1891	1,932	0,0407
9	0,136	0,00014	0,0445	1779	2,002	0,0436

ტურბულენტური რეჟიმისათვის ექსპერიმენტის გეგმა ნოცემულია ცხრილში 3.8.

ცხრილი 3.8

ბლანტი ნავთობის ტურბულენტურ რეჟიმზე მოძრაობის ექსპერიმენტის გეგმა

		$W_{საშ} \text{ მ/წმ}$								
		1,04	1,02	1	0,99	0,93	0,9	0,89	0,86	0,82
$i, \text{მ/მ}$	0,00286						6			
	0,00279			3						
	0,00256								8	
	0,00249							7		
	0,00223	1								
	0,00222				4					
	0,00204									9
	0,00193		2							
	000178						5			

მოდელის ადეკვატურობის დისპერსიის მნიშვნელობას S^2 ვსაზღვრავთ ფორმულით [108]:

$$S^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (\lambda_{ip} - \lambda_{i\theta})^2}{N-1}, \quad (3.24)$$

სადაც S^2 ახასიათებს რეალური ექსპერიმენტალური მონაცემებისათვის $\lambda_{i\theta}$ რეგრესიის განტოლების ამოხსნით მიღებული λ_{ip} მონაცემთა გადახრის ზომას როდესაც თავისუფლების ხარისხია $N-1$; სადაც $N - N$ - ცდების რიცხვია.

a^* და b^* კოეფიციენტების მნიშვნელობებს ვიპოვით უმცირესი კვადრატების მეთოდის გამოყენებით. ექსპერიმენტალური მონაცემების დამუშავების შედეგები მოცემულია ცხრილში 3.9.

ექსპერიმენტალურ მონაცემთა დამუშავების შედეგები ნავთობის ტურბულენტურ რეჟიმზე მოძრაობის შემთხვევაში

№	$W_{საშ} \text{ მ/წმ}$	$i, \text{ მ/მ}$	$\lambda,$	Re'	a'	b'	λ_p	λ_{pi}	λ_{p2}	λ_{p3}	λ_{p4}
1	1,04	0,00286	0,0339	4253	0,041He ^{-0,05}	2,23He ^{-0,35}	0,0341	0,0331	0,0324	0,0329	0,0326
2	1,06	0,00279	0,0337	4353			0,0338	0,0329	0,0323	0,0328	0,0324
3	1,00	0,00257	0,0341	4009			0,0343	0,0333	0,0327	0,0333	0,0329
4	0,99	0,00249	0,0346	3888			0,0349	0,0335	0,0328	0,0334	0,0331
5	0,93	0,00223	0,0349	3525			0,0352	0,0339	0,0334	0,0340	0,0337
6	0,90	0,00222	0,0345	3336			0,0349	0,0342	0,0337	0,0343	0,0340
7	0,94	0,00229	0,0352	3602			0,0356	0,0338	0,0332	0,0339	0,0335
8	0,94	0,00228	0,0348	3581			0,0352	0,0339	0,0333	0,0339	0,0336
9	0,92	0,00224	0,0348	3481			0,0355	0,0340	0,0334	0,0341	0,0337

λ_p – ჰიდრავლიკური წინაარმდეგობის კოეფიციენტი, გამოთვლილი ა.დ. ალტშულის ფორმულით;

λ_{p2} - ჰიდრავლიკური წინაარმდეგობის კოეფიციენტი, გამოთვლილი ი.ა. ისაევის ფორმულით;

λ_{p3} - ჰიდრავლიკური წინაარმდეგობის კოეფიციენტი, გამოთვლილი ვ.ი. ჩერნიკინის ფორმულით;

λ_{p4} - ჰიდრავლიკური წინაარმდეგობის კოეფიციენტი, გამოთვლილი ნ.ი. ბელოკონის ფორმულით.

3.2.3. ჰიდრავლიკური წინააღმდეგობის კოეფიციენტის გამოკვლევის შედეგები არაიზოთერმულ რეჟიმზე

თუ (2.42) გამოსახულებას გავამრავლებთ და გავყოფთ სითბოტევადობის თბოგადაცემის კოეფიციენტთან ფარდობაზე (c_p/λ_H), მივიღებთ შემდეგ გამოსახულებას (უგულებელყოფთ c_p და λ_H ცვალებადობას ტემპერატურის მიხედვით ნავთობის სიბლანტის ცვლილებასთან შედარებით)

$$\lambda_T = \lambda \left(\frac{\mu_\omega}{\mu_f} \right)^n \cdot \left(\frac{e^{AT_1}}{e^{AT_2}} \right)^n = \lambda \left(\frac{Pr_\omega}{Pr_f} \right)^n \cdot \left(\frac{e^{AT_1}}{e^{AT_2}} \right)^n. \quad (3.25)$$

ფარდობა - Pr_ω/Pr_f - ფორმულაში (3.25) ითვალისწინებს თბური ნაკადის უთანაბრობას ნავთობსადენის კვეთზე. ამ მაჩვენებლის სიდიდე უპირველესად დამოკიდებულია ნავთობის სიბლანტეზე ნაკადის კვეთის ნებისმიერ წერტილში. ამ კოეფიციენტის არარსებობა გაზრდიდა სითბოგადაცემის კოეფიციენტის მნიშვნელობას, რაც გამოიწვევდა პროცესის რეალური სურათის დამახინჯებას.

სამრეწველო მონაცემების დამუშავებამ საშუალება მოგვცა მიგველო ჰიდრავლიკური წინააღმდეგობის კოეფიციენტის საანგარიშო დამოკიდებულება შემდეგი სახით

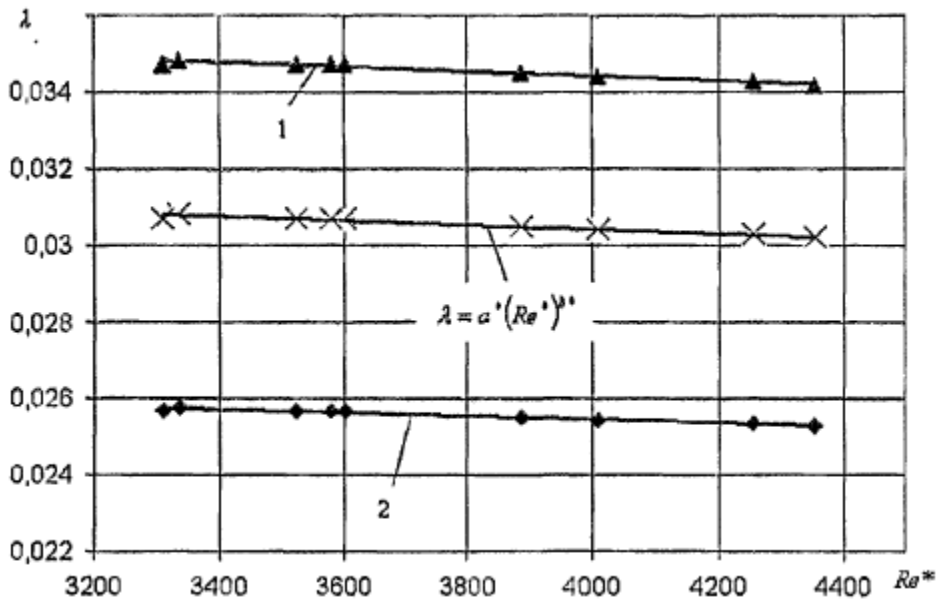
$$\lambda_r = a^* \left(\frac{8Re}{H+2(1+\sqrt{9+H})} \right)^{b^*} \left(\frac{Pr_\omega}{Pr_f} \right)^{0,13} \cdot \left(\frac{e^{AT_1}}{e^{AT_2}} \right)^{0,13}, \quad (3.26)$$

სადაც a^* , b^* - კოეფიციენტებია, რომლებიც ისაზღვრებიან ექსპერიმენტალურად

$$(0,041He^{0,05}; 2,23He^{0,35});$$

T_1, T_2 — ნავთობის ტემპერატურებია საზომი უბნის დასაწყისზე და დასასრულზე შესაბამისად.

ნახ.3.7 - ზე მოცემულია ანგარიშის შედეგები ნავთობის იზოთერმულ რეჟიმზე მოძრაობის დროს, აგრეთვე სითხის გათბობის და გაცივების შემთხვევაში. ამ გრაფიკიდან ჩანს, რომ გათბობის შემთხვევაში ჰიდრავლიკური წინააღმდეგობის კოეფიციენტი აღმოჩნდება დაბალი (ხაზი 2), ხოლო გაცივების შემთხვევაში - იგი მაღალია (ხაზი 1) იზოთერმულ რეჟიმზე დინების ჰიდრავლიკური წინააღმდეგობის კოეფიციენტებთან შედარებით, რაც სრულად ეთანადება ფიზიკურ წარმოდგენას არაიზოთერმულ მოძრაობაზე.



ნახ. 3.7. დამოკიდებულება $\lambda = f(Re^*)$ იზოთერმული და არაიზოთერმული მოძრაობების შემთხვევაში(1,2)

3.2.4. სითბოსგაცემის კოეფიციენტის გამოკვლევის შედეგები

თბოგადაცემის უგანზომილებო კოეფიციენტის Nu - ს მნიშვნელობა ტურბულენტურ რეჟიმზე მოზრავი ნავთობისათვის იანგარისება მ.ა. მიხევეის [78] ფორმულით:

$$Nu_M = 0,021 Re_f^{0,8} Pr_f^{0,43} \left(\frac{Pr_f}{Pr_w} \right)^{0,25}, \quad (3.27)$$

სადაც Re_f , Pr_f - რეინოლდსის და პრანდტლის რიცხვებია სითხის ძირითადი ნაკადისათვის; Pr_w - პრანდტლის რიცხვის მნიშვნელობა ამილის კედელთან .

სითბოგადაცემის კოეფიციენტის გამოსათვლელად გამოყენებული იყო ფორმულა [88]:

$$\alpha = \frac{Gc(t_H - t_K)\rho}{\pi d l \Delta T}, \quad (3.28)$$

სადაც G - ნავთობსადენის მწარმოებლობაა, მ³/წმ; c - ნავთობის სითბოტევადობაა, ჯ/(კგ°C); ρ - ნავთობის სიმკვრივეა, კგ/მ³; t_H-t_K - ტემპერატურათა სხვაობაა საზომი უბნის შესასვლელსა და გამოსასვლელს შორის, °C; Δt - ვარდნაა საშუალო ტემპერატურასა (t_H+t_K)/2 და კედლის ტემპერატურას t_c შორის.

გაზომილი სიდიდეები $t_H, t_K, t_c, \Delta t$ და α - შესაბამისი მნიშვნელობები მოყვანილია ცხრილში 3.10.

ნავთობსადენის მწარმოებლობის და ნავთობის მოძრაობის სიჩქარის თითოეული მნიშვნელობისათვის ხდებოდა მაჩვენებლების სამჯერადი ათვლა და საბოლოოდ აღებული იყო მათი საშუალო არითმეტიკული მნიშვნელობა.

რეინოლდსის და პრანდტლის კრიტერიუმები ძირითადი ნაკადისათვის განისაზღვრა ფორმულებით:

$$Re_f = \frac{wd\rho}{\mu_f}; \tag{3.29}$$

$$Pr_f = \frac{\mu_f c}{\lambda_H} \tag{3.30}$$

სადაც w - ნავთობის ნაკადის სიჩქარეა; d - მილსადენის შიგა დიამეტრია; ρ - ნავთობის სიმკვრივეა; μ_f - ნავთობის ძირითადი ნაკადის დინამიკური სიბლანტეა; c - ნავთობის სითბოტევადობაა; λ_H - ნავთობის სითბოგამტარობაა.

ცხრილი 3.10

ექსპერიმენტული კვლევის შედეგები

№	$T_H,$ °C	$T_K,$ °C	$T_c,$ °C	$T_{Hcp},$ °C	$T_{Kcp},$ °C	$T_{ccp},$ °C	$(t_{Hcp}-t_{Kcp})$ °C	$\Delta t,$ °C	$G_{cp},$ კგ/წმ	$w_{cp},$ მ/წმ	$\alpha,$ Вт/(მ ² ·°C)
1	61,4	36,5	43,5	60,8	35,0	44,2	25,8	3,7	0,09	1,20	53,15
2	61,9	34,1	45								
3	59,2	34,5	44,1								
1	60,4	34,5	44,6	60,8	35,0	44,2	25,5	3,8	0,085	1,13	48,53
2	60,8	35,7	42,7								
3	61,1	35,6	45,3								

1	59,5	35,5	44,7	58,1	35,4	43,5	22,6	3,25	0,08	1,07	47,61
2	58,3	36,1	42,9								
3	56,4	34,7	42,9								
1	59,5	34,7	44,6	59,3	35,7	44,1	23,6	3,38	0,075	1,00	44,77
2	58,2	35,9	43,8								
3	60,2	36,4	43,9								

ნუსელტის რიცხვის განსასაზღვრად ვსარგებლობთ ფორმულით

$$Nu = \frac{ad}{\lambda} . \tag{3.31}$$

ცხრილში 3.11 მოყვანილია (3.31) და(3.27) ფორმულებით გამოთვლილი ნუსელტის რიცხვის მნიშვნელობები

ცხრილი 3.11

ნუსელტის კრიტერიუმის მნიშვნელობები

№	<i>Nu</i>	<i>Re_f</i>	<i>Pr_f</i>	<i>Pr_w</i>	<i>Nu_M</i>
1	121	5219	867	1156	176
2	110	4929			168
3	108	4639			160
4	102	4349			152
5	94	4059			144
6	93	3769			136
7	82	3479			127
8	73	3189			119
9	71	2899			110

ნუსელტის კრიტერიუმის მიღებული მნიშვნელობების ანალიზით ჩანს, რომ თეორიული მაჩვენებლები მეტია ექსპერიმენტალურზე, ამიტომ ჩნდება საანგარიშო ფორმულის დაზუსტების საჭიროება.

თუ მივიღებთ მხედველობაში იმ ფაქტს, რომ თბური ნაკადი მოლსადენის განივ კვეთში ნაწილდება არათანაბრად [129], ამიტომ განმსაზღვრელი პარამეტრი იქნება *Pr_f/Pr_w*.

ზემოთ აღნიშნულიდან გამომდინარე, მოიაზრება, რომ კომპლექსები Re_f და Pr_f ნუსელტის რიცხში უნდა შევიდნენ იგივე დამოკიდებულებებით, როგორც სითხის ჰორიზონტალურ მილში მოძრაობის შემთხვევაში ანუ $Re_f^{0,8}$ და $Pr_f^{0,43}$. საბოლოოდ საძებნ ფუნქციონალურ დამოკიდებულებას უნდა ჰქონდეს შემდეგი სახე:

$$Nu = C Re_f^{0,8} Pr_f^{0,43} \left(\frac{Pr_f}{Pr_w} \right)^n. \quad (3.32)$$

თუ ჩავსვავთ

$$B = \frac{Nu}{Re_f^{0,8} Pr_f^{0,43}},$$

მაშინ მივიღებთ

$$B = C \left(\frac{Pr_f}{Pr_w} \right)^n. \quad (3.33)$$

C და n კოეფიციენტების განსაზღვრის მეთოდიკა შეესაბამება ქვეთავში 3.2.1. აღწერილ მეთოდიკას. ამრიგად, სითბოგაცემის უგანზომილებო კოეფიციენტის Nu - ს საანგარიშოდ მივიღებთ შემდეგ ფორმულას

$$Nu = 0,0082 Re_f^{0,8} Pr_f^{0,43} \left(\frac{Pr_f}{Pr_w} \right)^{0,62} \quad (3.34)$$

ამ ფორმულით მიღებული ანგარიშის შედეგების ექსპერიმენტალური მონაცებიდან გადახრა არ აჭარბებს 5%, რაც სრულად აკმაყოფილებს საინჟინრო გაანგარიშებებისადმი წაყენებულ მოთხოვნებს. მ.ა. მიხევეის მეთოდიკის მიხედვით ჩატარებული გათვლები იძლევიან გაცილებით მეტ გადახრებს.

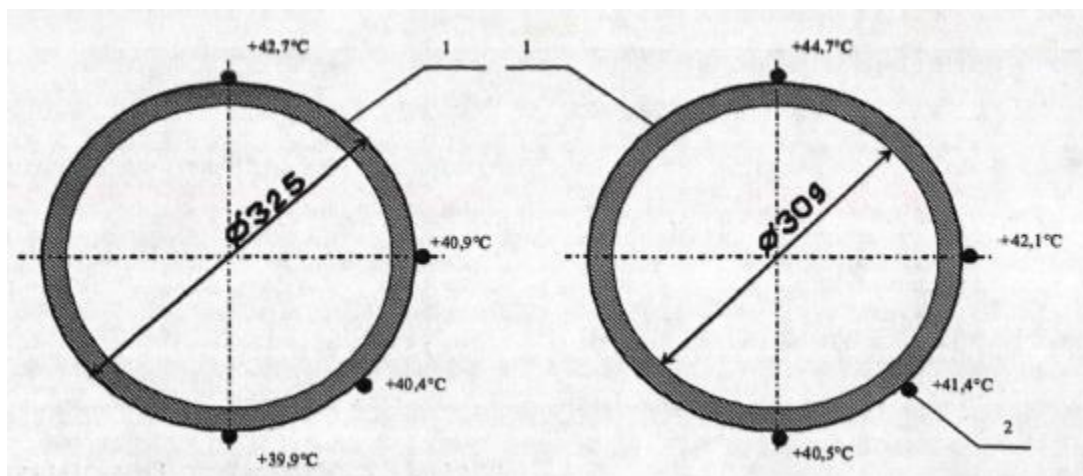
მოცემულ შემთხვევაში სითბოს დანაკარგები მილსადენიდან გარემოზე ხარისხობრივად უმნიშვნელოა, რაც გულისხმობს მილსადენის თბური იზოლიაციის სისქის გაზრდას.

ბლანტი ნავთობის ნაკადიდან მილის კედლებზე სითბოგადაცემის ინტენსივობაზე დამოკიდებულებით ხდება მილის კედლის ტემპერატურის ცვლელება.

ანომალური სიბლანტის მქონე ნავთობზე ჩატარებულმა ექსპერიმენტებმა აჩვენეს, რომ ტემპერატურა მილის პერიმეტრზე არ არის მუდმივი.

როგორც ნახ.3.8 - ზე ჩანს, მილის ზედა ზონებში კედლის ტემპერატურა ტოლია $+42,7^{\circ}\text{C}$, $+44,7^{\circ}\text{C}$.

მილის ქვედა ზონებში კედლის ტემპერატურა დაბალია ვიდრე ზედაში და ტოლია $+39,9^{\circ}\text{C}$, $+40,5^{\circ}\text{C}$. ტემპერატურის მიღებული მნიშვნელობები წარმოადგენენ საშუალოსგაზომვის შედეგების მიხედვით.



ა)

ბ)

ნახ.3.8. ტემპერატურის ლოკალური მნიშვნელობების ცვლილება ჰორიზონტალური მილის პერიმეტრზე (1 - მილი; 2 - ტემპერატურის გაზომვის წერტილები):

ა) - ტრასის მე - 18 კილომეტრზე; ბ) - მე - 13 კილომეტრზე

ექსპერიმენტალურმა გამოკვლევებმა აჩვენეს, რომ ტემპერატურების ლოკალური მნიშვნელობების განსხვავება მილსადენში მოძრავი სითხის ნაკადის ზედა და ქვედა ზონებს შორის შეიძლება აიხსნას მილსადენის ქვედა ზონებში (ძირზე) სიბლანტის ძლების გაზრდით.

3.3. ლაბორატორიულ პირობებში ნავთობის რეოლოგიური მახასიათებლების გამოსაკვლევი ექსპერიმენტალური დანადგარი

ავხსნათ თუ რა არის D დიამეტრის და L სიგრძის მილში მოძრავი სითხის ჰიდრავლიკური წინააღმდეგობის შემცირების მიზეზი. დაწნევის ΔP ვარდნით გამოწვეული თანაბარი მოძრაობის პირობას აქვს სახე

$$\Delta P \cdot \frac{\pi D^2}{4} - \tau_w \cdot \pi \cdot D \cdot L = 0$$

სადაც τ_w – ძვრის მხევი ძაბვაა მილის კედელთან.

საიდანაც $\tau_w = \tau_w \cdot \frac{4L}{D}$, ანუ კავშირი ΔP და τ_w შორის პირდაპირპროპორციულია.

დინების მრუდის მიხედვით $\tau_w = \mu_3 \cdot \frac{dw}{dr}$ ჩანს, რომ მხევი ძაბვა მილის კედელთან პირდაპირპროპორციულია კედლებთან შეხებაში მყოფი სითხის ეფექტური სიბლანტის. მილსადენში ნავთობის შეთბობით გადაზიდვის პროცესში მისი ეფექტური სიბლანტე შემცირებულია.

როგორც უკვე აღინიშნა მილსადენური ტრანსპორტის ერთ-ერთ მნიშვნელოვან პარამეტრს მისი მაღალი გამტარუნარიანობა წარმოადგენს, რომლის კიდევ უფრო გაზრდა შესაძლებელია გადასაზიდი პროდუქტის ნაკადის გადინების სიჩქარის გაზრდით. მაგრამ მილსადენით ისეთი ნავთობის ტრანსპორტირება, რომელსაც გააჩნია მაღალი სიბლანტე და პარაფინის შემცველობა როგორც ტექნიკური, ასევე ტექნოლოგიური თვალსაზრისით წარმოადგენს მეტად რთულ პროცესს, რომელიც საჭიროებს დამატებით გამოკვლევებს.

ბლანტი სითხეების მილსადენით ტრანსპორტირების სიჩქარის გაზრდა მცირე ენერგეტიკული დანახარჯებით შესაძლებელია მხოლოდ სითხის ისეთი რეოლოგიური მახასიათებლების გაუმჯობესების შედეგად როგორებიცაა: სიმკვრივე, სიბლანტე, შედედების ტემპერატურა და სხვა. ამ პარამეტრების გაუმჯობესება შესაძლებელია ისეთ ეფექტური მეთოდების გამოყენებით როგორებიცაა: გადასაზიდი პროდუქტის თერმული დამუშავება; დეპრესანტების დამატება; ნახშირწყალბადური წარმოშობის გამხსნელების დამატება; მექანიკური ზემოქმედება; გადასაზიდი პროდუქტის შეთბობა თბომცვლელ მოწყობილობებში გარკვეულ ტემპერატურამდე და ა.შ.

ნავთობის რეოლოგიური პარამეტრების ოპტიმალური ენერგოდანახარჯებით გაზრდის პროცესების გამოკვლევების თვალსაზრისით შეიქმნა ლაბორატორიული ექსპერიმენტალური დანადგარი.

ექსპერიმენტის მიზანს წარმოადგენდა ბლანტი ნავთობის რეოლოგიური პარამეტრების ცვლილების გავლენის გამოკვლევა მილსადენის გამტარუნარიანობაზე

სხვადასხვა ტემპერატურულ პირობებში და აგრეთვე გადამტუმბი მოწყობილობის ენერგოეფექტურობის დასაბუთება.

ექსპერიმენტული გამოკვლევების საფუძველზე განისაზღვრა მილსადენში ბლანტი ნავთობის გადაადგილების სიჩქარე პროდუქტის სხვადასხვა ტემპერატურებზე და მის გადატუმბვაზე მოხმარებული შესაბამისი სიმძლავრე გადაზიდვის პროცესის ენერგოეფექტურობის შეფასების თვალსაზრისით.

დასახული ამოცანების გადასაწყვეტად შეიქმნა ლაბორატორიული ექსპერიმენტალური დანადგარი, რომლის მოქმედების პრინციპიალური სქემა მოცემულია ნახ.3.10 - ზე. დანადგარის მუშაობის პრინციპი მდგომარეობს შემდეგში მდგომარეობს: გამოსაკვლავი ობიექტი - ბლანტი ნავთობი საწყისი ტემპერატურით 20°C გარკვეულ ტემპერატურამდე თბება რეზერვუარში (1) ელექტროშემათბობელით (9), რომლის ჩართვა - გამორთვა სხვადასხვა ტემპერატურული რეჟიმების დამყარების მიზნით იმართება კონტაქტური თერმომეტრით (10) და რელეთი P1 (11). შემთბარი ნავთობი მილსადენით (8) ცენტრიდანული ტუმბოს (3) საშუალებით (რომელიც სქემაში ჩართულია ამომრთველის 12 საშუალებით) გადაიტუმბება მიმღებ ჭურჭელში (1). ტუმბოს მიერ სხვადასხვა რეჟიმებზე მოხმარებული სიმძლავრე განისაზღვრება ელექტროვოლტმეტრის (7) და ამპერმეტრის (6) საშუალებით. გადასატანი პროდუქტის წნევა ფიქსირდება მანომეტრით (4). მიწოდების რეგულირება ხდება ონკანებით (4) და (5), ხოლო დროის ათვლა - ელექტრონული წამმზომით, რაც გვაძლევს საშუალებას განვსაზღვროთ ნავთობის მოცულობითი ხარჯი ან მოძრაობის სიჩქარე შეთბობის სხვადასხვა ტემპერატურის დროს. შემთბარი ნავთობის დინამიკური სიბლანტე სხვადასხვა ტემპერატურებზე განისაზღვრება სიბლანტისმზომით, ხოლო სიმკვრივე - არეომეტრით.

თერმულად დამუშავებული ნავთობის რეოლოგიური პარამეტრების გაუმჯობესების ხარისხი დამოკიდებულია მისი შეთბობის ტემპერატურაზე. შეთბობის ოპტიმალური ტემპერატურის არსებობა უკავშირდება შემდეგ მოვლენებს. პარაფინის კრისტალების ზედაპირზე ადსორბირებულია ნავთობში არსებული ფისოვანი ნივთიერებები. შეთბობის დაბალ ტემპერატურაზე პარაფინის კრისტალების ნაწილი იხსნება და გამოთავისუფლებული ფისოვანი ნივთიერებები ადსორბირდებიან

პარაფინის გაუხსნელი კრისტალების ზედაპირზე. შემდგომი გაცივების შედეგად ხსნარიდან გამოყოფილი პარაფინის მცირე კრისტალები ქმნიან მაგარ სტრუქტურას, რაც იწვევს ნავთობის ეფექტური სიბლანტის და გამყარების ტემპერატურის ზრდას. შეთბობის ტემპერატურის მატებით იზრდება პარაფინის გახსნილი კრისტალების რაოდენობა, რაც დადებითად აისახება ნავთობის რეოლოგიურ თვისებებზე. სითბური დამუშავების მაქსიმალური ეფექტი მაშინ მიიღწევა როდესაც პარაფინის ყველა კრისტალი გაიხსნება. თუმცა ნავთობის შემდგომი გაცხელება იწვევს მასში შემავალი ფისოვანი ნივთიერებების შეუქცევად დაშლას და თბური დამუშავების ეფექტი ეცემა.

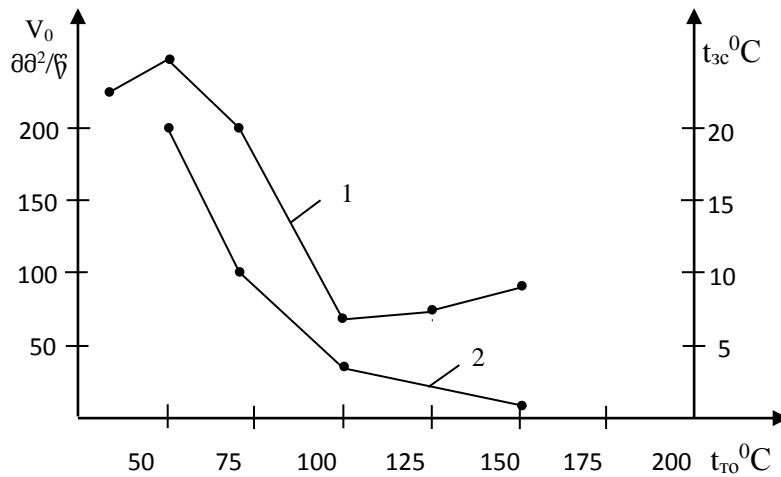
რადგანაც სხვადასხვა სახის ნავთობში პარაფინის შემცველობა სხვადასხვაა თითოეული მათგანისათვის თერმული დამუშავების ოპტიმალური ტემპერატურა ისაზღვრება ექსპერიმენტალური მეთოდით.

ნახ. 3.9 – ზე ნაჩვენებია თერმული დამუშავების ტემპერატურის გავლენა გამოსაკვლევი ნავთობის რეოლოგიურ თვისებებზე

ექსპერიმენტალური კვლევების ანალიზი აჩვენებს, რომ როდესაც თერმული დამუშავების ტემპერატურა 60°C – მდეა გამყარების ტემპერატურა არა თუ მცირდება, არამედ პირიქით განიცდის ზრდას. თერმული დამუშავების ტემპერატურის შემდგომი ზრდა კი იწვევს გამყარების ტემპერატურის შემცირებას. დაწყებული 105°C –დან ზევით თერმულად დამუშავებული ნავთობის გამყარების ტემპერატურა კვლავ იზრდება. გამოსაკვლევი ნავთობის ეფექტური სიბლანტის (V_0) დამოკიდებულების ხასიათი აჩვენებს, რომ სიბლანტის მკვეთრად შემცირებას ადგილი აქვს მხოლოდ მაშინ, როდესაც თბური დამუშავების ტემპერატურა 20°C – ზე ნაკლებია.

ექსპერიმენტებით დადასტურდა, რომ სითბური დამუშავების ეფექტური ტემპერატურა მდებარეობს 90°C – თან ახლო ზღვრებში.

ნავთობის შეთბობის ოპტიმალური ტემპერატურის განსაზღვრის შემდეგ, ექსპერიმენტალური კვლევის ამოცანას წარმოადგენდა მაგისტრალში ჩართული ტუმბოს მწარმოებლობის და მოხმარებული სიმძლავრის ცვლილების დინამიკის შესწავლა.



ნახ. 3.9. ტემპერატურის გავლენა ნავთობის რეოლოგიურ პარამეტრებზე

1 – გამყარების ტემპერატურა; 2 – კინემატიკური სიბლანტე.

როგორც წესი, მილსადენში შემთბარი ნავთობის გადატვირთვისას გადამტვირთ სადგურებში ძირითადად გამოიყენება დგუმიანი კომპრესორები და ცენტრიდანული ტუმბოები. მათ შორის დგუმიანი კომპრესორებით შესაძლებელია მიწოდება განხორციელდეს 6-7,5 მ სიმაღლეზე, ისინი ხასიათდებიან საკმაოდ მაღალი მარგი ქმედების კოეფიციენტით და მიწოდების მუდმივობით, თუმცა მოძრაობაში მოდიან ელექტრო ან შიგაწვის ძრავიდან რაც დამატებით ხარჯებთანაა დაკავშირებული.

თანამედროვე ეტაპზე, ნავთობის გადატვირთვის თვალსაზრისით, დგუმიან კომპრესორებთან შედარებით უპირატესობა მოიპოვა ცენტრიდანულმა ტუმბოებმა, რომლებიც გამოირჩევიან მაღალი მქკ-ით და კონსტრუქციის სიმარტივით. ამასთან ცნობილია რომ ასეთი ტუმბოები მნიშვნელოვნად რეაგირებენ გადასატუმბი სითხის სიბლანტეზე. კერძოდ სიბლანტის ზრდასთან ერთად ტუმბო ვერ უზრუნველყოფს საპასპორტო მონაცემებით დადგენილ დაწნევასა და მიწოდების მახასიათებლებს.

ჩვენს მიერ ჩატარებული ექსპერიმენტალური გამოკვლევა გვიჩვენებს, რომ გამოსაკვლევ ნავთობის შეთბობის მოცემულ ტემპერატურულ ინტერვალში (40 -150°C) მაგისტრალში ჩართული ცენტრიდანული ტუმბოს მიერ განვითარებული დაწნევა, მიწოდების სიჩქარე და მქკ იზრდება, ამასთან ერთად მცირდება ტუმბოს მიერ

ქსელიდან მოხმარებული სიმძლავრე. კერძოდ, მოცემულ ტემპერატურულ ინტერვალში ტუმბოს მწარმოებლობა გაიზარდა 3 - 5%-ით, შესაბამისად მქკ გაიზარდა 75 - დან 80% - მდე და ქსელიდან მოხმარებული სიმძლავრე შემცირდა 5 - 8%-ით.

ექსპერიმენტალური კვლევის ანალიზიდან გამომდინარე შეიძლება დავასკვნათ, რომ გადამტვირთ სადგურებში აუცილებელია ტუმბო განთავსდეს მხოლოდ თბომცვლელი მოწყობილობის შემდეგ. აქვე უნდა ავღნიშნოთ, რომ ჩატარებული ექსპერიმენტალური გამოკვლევა საშუალებას გვაძლევს განვსაზღვროთ გამოსაკვლევი ბლანტი ნავთობის (ნავთობპროდუქტის) შეთბობის ოპტიმალური ტემპერატურა, რაც მნიშვნელოვანი პარამეტრია თბომცვლელი მოწყობილობის ტიპის შესარჩევად და ოპტიმალური გეომეტრიული ზომების დასადგენად მათემატიკური გაანგარიშების გზით. ყოველივე ეს მიზნად ისახავს მაგისტრალური მილსადენის გამტარუნარიანობის ამაღლებას და ეკონომიკური ეფექტის გაზრდას. ეს ეფექტი კიდევ უფრო მნიშვნელოვანი იქნება, თუ თბომცვლელ მოწყობილობებში გამოვიყენებთ ენერჯის ისეთ ბუნებრივ წყაროებს, როგორცაა გეოთერმული წყლების და მზის ენერჯია.

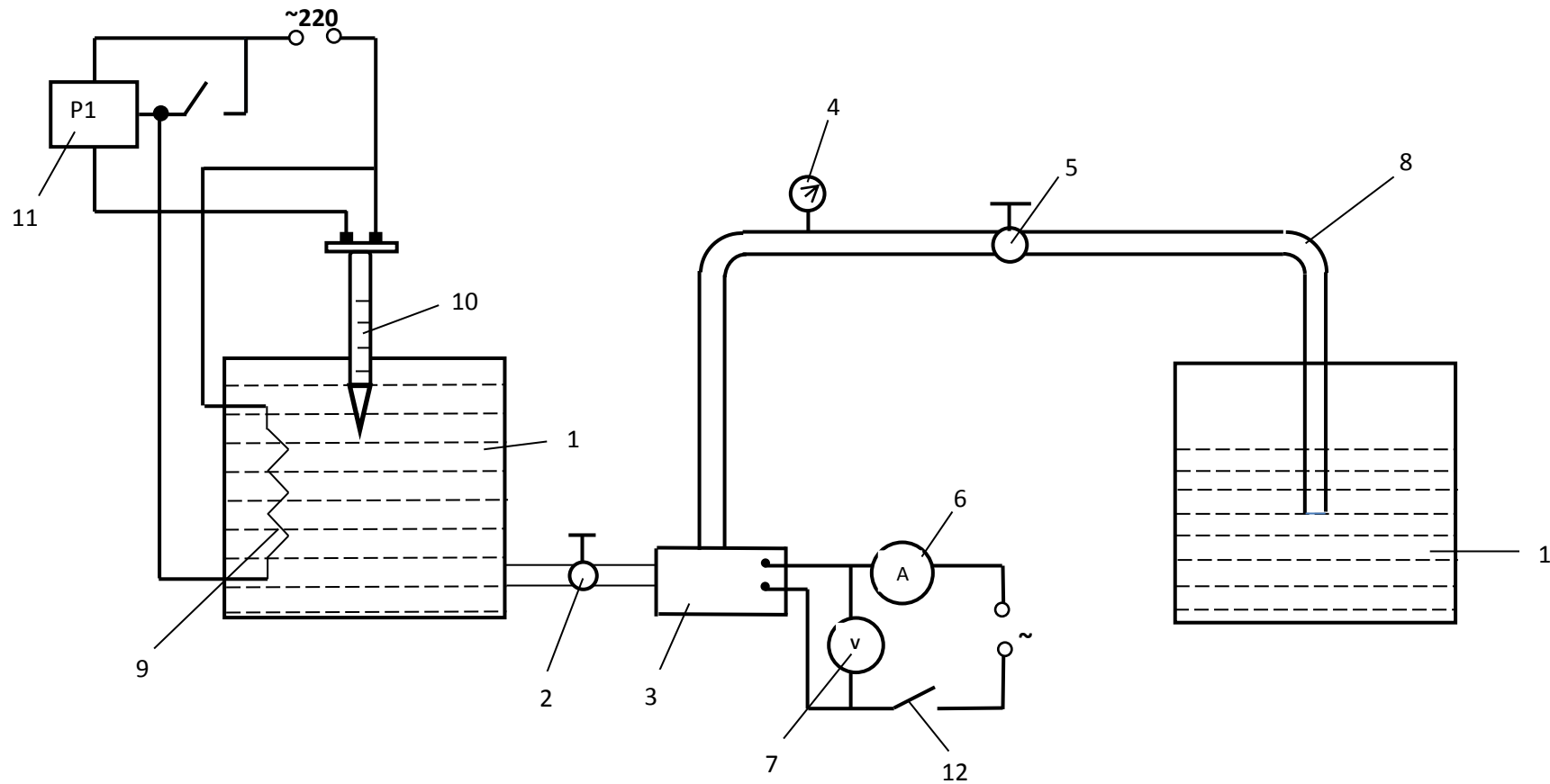
3.4. მესამე თავის დასკვნები

1. ბლანტი ნავთობის რეოლოგიური თვისებების ექსპერიმენტული კვლევის შედეგების საფუძველზე დადგინდა დინების კანონი, რომელსაც ექვემდებარება მოცემული ბლანტი სითხე (გამოსაცდელი ნავთობი ეთანადება ბალკლი – გერშელის მოდელს). დადგინდა დინამიკური სიბლანტის რაოდენობრივი დამოკიდებულება შეთბობის ტემპერატურაზე.

2. ბლანტი ნავთობის ტრანსპორტირების პროცესის ექსპერიმენტული კვლევის შედეგების საფუძველზე დადგინდა დამოკიდებულებები რომელთა საშუალებითაც განისაზღვრება:

- ჰიდრავლიკური წინააღმდეგობის კოეფიციენტი მოძრაობის ლამინარულ რეჟიმზე (არაიზოთერმული დინება);
- ჰიდრავლიკური წინააღმდეგობის კოეფიციენტი მოძრაობის ტურბულენტურ რეჟიმზე (არაიზოთერმული დინება);
- ნუსელტის რიცხვი.

ნახ.3.10. ექსპერიმენტული დანადგარის პრინციპული სქემა



1-რეზერვუარი; 2-ონკანი; 3-ცენტრიდანული ტუმბო; 4-მანომეტრი; 5-ონკანი; 6-ამპერმეტრი; 7- ვოლტმეტრი; 8მილსადენი; 9-ელექტროგამათბობელი; 10კონტაქტური თერმომეტრი; 11რელე; 12-ჩამრთველი.

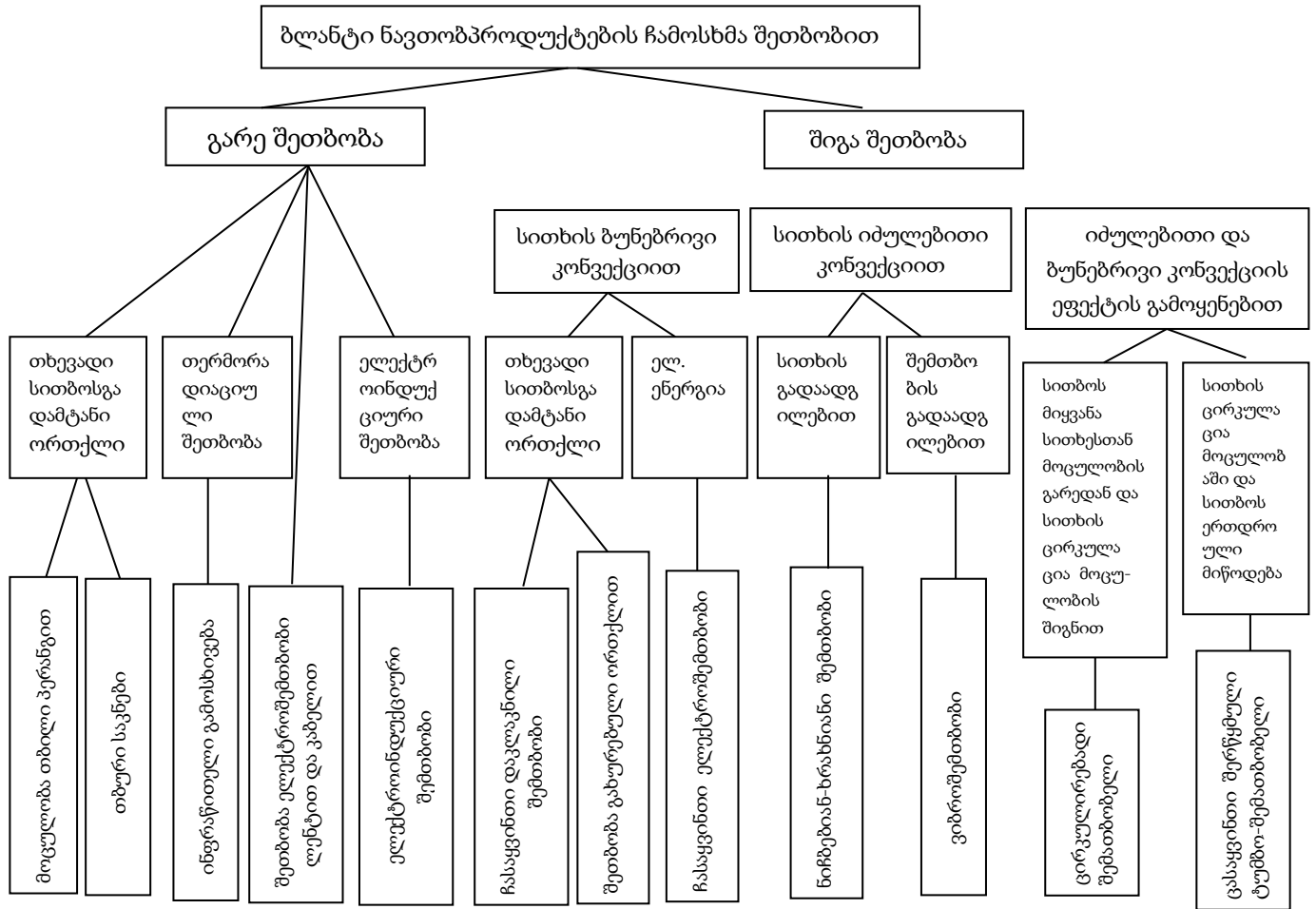
თავი 4. ნავთობის და ნავთობპროდუქტების შეთბობის მეთოდების ოპტიმიზაცია სატრანსპორტო ცისტერნებიდან მათი ჩამოსხმის ოპერაციების დროს

ბოლო წლებში ნავთობის და ნავთობპროდუქტების გადაზიდვების მოცულობები საქართველოს რკინიგზით შეადგენს 9 – 10 მლნ ტონას წელიწადში. საქართველოს გავლით ყაზახეთი ყოველწლიურად გადაზიდავს 5 მილიონ ტონამდე ნავთობს. ამ მოცულობის ნახევარი გადაიზიდება სარკინიგზო ცისტერნებით, დანარჩენი კი გადაიტუმბება ბაქო – თბილისი – ჯეიხანის მილსადენით. დარჩენილი 5 მლნ ტონა მოდის აზერბაიჯანულ ნავთობზე. ნავთობპროდუქტების გადაზიდვა საქართველოს გავლით აგრეთვე ხორციელდება ირანიდან საავტომობილო ტრანსპორტით საქართველოს შავი ზღვის პორტებამდე, იქედან კი შემდგომ ევროპის ქვეყნებში. საყურადღებოა, რომ მსოფლიოში ამჟამად მიმდინარე ირანისადმი სანქციების გაუქმების პროცესების დადებითად გადაწყვეტა კიდევ უფრო გააფართოებს ირანიდან საქართველოს გავლით როგორც ევროპის ასევე მსოფლიოს სხვა ქვეყნებისაკენ მიმართული ნავთობისა და ნავთობპროდუქტების ნაკადების სიდიდეს.

სარკინიგზო და საავტომობილო ცისტერნებით ბლანტი ნავთობის და ნავთობპროდუქტების ტრანსპორტირების დროს მიწოდებათა ერთიან ლოჯისტიკურ ჯაჭვში ერთ-ერთ ყველაზე მეტად რთულ და შრომატევად ტექნოლოგიურ პროცესს სატრანსპორტო მოცულობებში ნავთობპროდუქტების ჩასხმის და განსაკუთრებით ჩამოსხმის ოპერაციები წარმოადგენს. ამ ოპერაციებს თან სდევს მნიშვნელოვანი მატერიალური და ენერგეტიკული დანახარჯები, აგრეთვე დატვირთვა – განტვირთვის პროცესში მყოფი ცისტერნების ხანგრძლივი დროით მოცდენა.

ლიტერატურული წყაროების გაცნობის და ანალიზის საფუძველზე შეიძლება დავასკვნათ, რომ ბლანტი ნავთობპროდუქტების ამოტუმბვა დროებითი შესანახი რეზერვუარიდან მათი ჩასხმა სატრანსპორტო ცისტერნებში და დანიშნულების ადგილზე მისი კვლავ ჩამოსხმა წარმოადგენს რთულ, ხანგრძლივ და ბევრ შემთხვევაში პრაქტიკულად სრული მოცულობით შეუსრულებელ ამოცანას არსებული ტექნიკური საშუალებების არასრულყოფილობის გამო.

ბლანტი ნავთობის სატრანსპორტო მოცულობებში ჩასხმა-გადმოსხმის ოპერაციების სწრაფად და ხარისხიანად შესრულებისათვის ცნობილია მრავალი ხერხი, მაგრამ უპირატესი პრაქტიკული გამოყენება მოიპოვა გადასაზიდ პროდუქტზე თბური ზემოქმედების მეთოდმა. თბური ზემოქმედების მეთოდების და საშუალებების სისტემატიზაცია შეიძლება მოვახდინოთ შემდეგი სახით (ნახ.4.1)



ნახ.4.1. სატრანსპორტო მოცულობებიდან ბლანტი ნავთობპროდუქტების ჩამოსხმისას მათი შეთბობის მეთოდების კლასიფიკაცია

4.1. სატრანსპორტო მოცულობებში ბლანტი ნავთობის და ნავთობპროდუქტების შეთბობის სისტემა

ბლანტი ნავთობპროდუქტების (ზეთები, მაზუთი, ბითუმი, მძიმე ნავთობი და სხვა) სატრანსპორტო მოცულობებში ჩასხმა, განსაკუთრებით კი ჩამოსხმა მოითხოვს მათ წინასწარ შეთბობას, სპეციალური ჩამოსასხმელი მოწყობილობების გამოყენებას, აგრეთვე სატრანსპორტო ცისტერნების აღჭურვას შემთბობი საშუალებებით და მთელ რიგ შემთხვევებში თბოიზოლიაციით. სატრანსპორტო მოცულობებში (სარკინიგზო და საავტომობილო ცისტერნებში) ბლანტი ნავთობპროდუქტების შეთბობის ხერხები პირობითად შეიზღება დავყოთ ორ ძირითად ჯგუფად:

- შეთბობა ცისტერნის კედლიდან;
- გადასაზიდი პროდუქტის შეთბობა მოცულობის შიგნით.

პირველ ჯგუფს ეკუთვნის შეთბობა ცისტერნის კედლიდან ორთქლის პერანგის გამოყენებით, თერმორადიაციული და ელექტროინდუქციური შეთბობა [43]. დღევანდელ ეტაპზე გამოშვებული ბლანტი ნავთობპროდუქტების გადასაზიდი 15-1566 და 15-897 მოდელის სარკინიგზო ცისტერნები [68,128] აღჭურვილი არიან 3 მმ სისქის ფოლადის ფირფიტისაგან დამზადებული სპეციალური ორთქლგამაცხელებელი გარსაცმით (პერანგით), რომელიც მოიცავს ცისტერნის ქვედა ნაწილს და ფარავს მისი ზედაპირის თითქმის ნახევარს. ღრეჩო გარსაცმსა და ორთქლის ქვაბის გარე ზედაპირს შორის შეადგენს 36 მმ–ს. ორთქლგამაცხელებელი გარსაცმით და ქვაბის ქვედა ნაწილით შექმნილი სივრცე უერთდება ჩამოსასხმელი ხელსაწყოს ორთქლითგამაცხელებელ გარსაცმს. ჩამოსხმის წინ პროდუქტის გამაცხელებელი ორთქლი მიეწოდება უნივერსალური ჩამოსასხმელი მოწყობილობის პერანგის მილტუჩიდან, ხოლო კონდენსატი ჩამოდის ორთქლის პერანგის ქვედა ნაწილის ბოლოებში განლაგებული ორი მილსადენიდან. ორთქლისპერანგიანი სატრანსპორტო ცისტერნის გაცხელებისას წარმოიქმნება ნავთობპროდუქტის კედლისახლო თბილი ფენა რაც მნიშვნელოვნად ამცირებს ნაკადის მოძრაობის წინააღმდეგობას. ორთქლისპერანგიანი სატრანსპორტო ცისტერნიდან ბლანტი ნავთობპროდუქტის ჩამოდინების პროცესის აღმწერი დიფერენციალური განტოლების ამოხსნის საფუძველზე ა.ს. ედიგაროვის [48] მიერ

მიღებულია დამოკიდებულება, რომელიც განსაზღვრავს 60 მ³ მოცულობის ცისტერნის სრულად დაცლის დროს

$$\tau_{II} = \frac{976 \cdot (0,06 \cdot v_x + 0,2 \cdot v_r)}{\pi \cdot g \cdot \delta \cdot d^3} + 250 \quad (4.1)$$

სადაც v_x – ბლანტი ნავთობპროდუქტის შიგა ცივი შრის სიბლანტეა; v_r – კედლისახლო ცხელი შრის სიბლანტეა; δ - კედლისახლო გაცხელებული შრის სისქეა; d - ჩამოსასხმელი ხელსაწყოს მილსადენის დიამეტრია.

გამყარებული ქიმიური ტვირთების გადასაზიდად იყენებენ სპეციალური კონსტრუქციის სარკინიგზო ცისტერნებს, რომლებიც დაკომპლექტებული არიან სტაციონარული გამათბობელებით. 15-1532 მოდელის (пека) -ს გადასაზიდი ცისტერნა [128] აღჭურვილია თერმოიზოლაციური ქვაბით, რომლის ქვედა ნაწილში განლაგებულია ორი ელექტროგამათბობელი მოწყობილობა. ცხელი ჰაერი, რომელიც კონვექტირდება მილოვანი ელექტროშემათბობელებიდან (ტენი), თქნაბრად ათბობს ქვაბს მის მთელ ზედაპირზე. მონტაჟის და დემონტაჟის გაიოლების მიზნით ელექტროშემთბობები გაერთიანებული არიან მოსახსნელ სექციებში, რომელთა ჯამური სიმ ძლავრე შეადგენს 90 კვტ-ს. აშშ - ში შექმნილია სპეციალური ცისტერნა [40] შემთბობი მოწყობილობით, რომელიც უზრუნველყოფს გადაზიდვის პროცესში პროდუქტის მაღალი საწყისი ტემპერატურის შენარჩუნებას. ქვაბის კედლების გარეთა მხრიდან მიდუღებულია მილები, რომელშიდაც ცირკულირებს ზეთი. ცისტერნა აღჭურვილია შემთბობი მოწყობილობით, რომელიც განლაგებულია ვაგონის ჩარჩოს გვერდითი მხრიდან და შედგება ზეთის გამაფართოებელი ავზისაგან, სატუმბი აგრეგატისაგან, სანთურისაგან, შეკუმშული პროპანის ბალონისაგან, და საკონტროლო-სარეგულირო აპარატურისაგან. ცისტერნას აქვს მინისბოჭკოვანი თერმოიზოლაციური შრე და მეტალის ბგარსაცმი. აღსანიშნავია, რომ ცისტერნას გამოირჩევა დიდი მასით, გამათბობელი მოწყობილობის სიძვირით, აგრეთვე მუდმივადაა საჭირო სისტემის გამართულად მუშაობის კონტროლი.

თერმორადიაციული შეთბობის მეთოდი ეფუძნება ცისტერნის ქვაბის წინა და გვერდითი ზედაპირების გასათბობად ნათურული ტიპის ინფრაწითელი გამასხივებლების გამოყენებას [43].

შეთბობის ელექტროინდიკციური მეთოდის არსი ცისტერნის ქვაბის გარშემო ცვლადი მაგნიტური ველის შექმნაში და ქვაბის მეტალზე გრიგალური დენების მიყვანაში მდგომარეობს. ამ მიზნით ქვაბის ზედაპირზე ედება სპილენძის იზოლირებული მავთულისაგან გაკეთებული სპეციალური სოლენოიდი, რომელსაც მიეწოდება ცვლადი დენი. მეტალში ინდუქტირებული დენი გარდაიქმნება სითბოდ და აცხელებს ცისტერნის კედლებს.

თერმორადიაციული და ელექტროინდუქციური მეთოდების ძირითად უარყოფით მხარეს წარმოადგენს: კონსპრუქციის და ექსპლუატაციის სირთულე, ენერჯის გაზრდილი ხარჯი, დაბალი მქკ და მაღალი ღირებულება. ძალზე შეზღუდულია ისეთი ცისტერნების გამოყენება, რომლებიც აღჭურვილი არიან ორთქლის პერანგებით, რადგანაც მათ ახასიათებთ სითბოს დიდი დანაკარგები ქვაბის თბოიზოლაციის არქონის და აგრეთვე ცისტერნებიდან პროდუქტის ჩამოსხმის პუნქტებში კონდენსატის საუტილიზაციო მოწყობილობების არარსებობის გამო.

უფრო ფართო გავრცელება მოიპოვა ბლანტი ნავთობპროდუქტების შეთბობის მეთოდმა ცისტერნის შიგა მოცულობაში. მათ რიცხვს მიეკუთვნება თავისუფალი და იძულებითი კონვექციის პრინციპებზე მოქმედი ჩაშენებული და გადასაადგილებელი შემთბობები. ამ მოწყობილობებში სითბოსგადამტანად გამოიყენება წყლის ორთქლი, წინასწარ შემთბარი ნავთობპროდუქტი, ცხელი გაზები, ელექტროენერჯია.

სულფონოლის პასტის გადასაზიდი 15-1565 მოდელის ცისტერნა [128] აღჭურვილია სტაციონარული კლაკნილა-მილისებური გამაცხელებლით, რომელიც მიდუღებულია ქვაბის შიგა ქვედა ნაწილში. ქვაბის მთელი ზედაპირი დაფარულია თხელი თუნუქის მასალისაგან (MTP-35) დამზადებული გარსაცმით. ცხელი სითბოგადამტანი (ორთქლი ან სითხე) მიეწოდება ქვაბის ქვედა ნაწილში მილსადენიდან.

ბულგარეთის რკინიგზაზე იყენებენ მოწყობილობას, რომელიც შედგება ცისტერნის ძირზე დამაგრებული პერფორირებული მილისაგან და პერფორირებული მილის ბოლოვანასთან მილტუჩთან შემაერთებული ვერტიკალური მილისაგან. მილტუჩი განლაგებულია ქვაბის ზედა ნაწილში [40]. 60 – 70 °C - ზე წინასწარ გაცხელებული სითბოსგადამტანი ცხელ ორთქლთან ან ჰაერთან ნაზავში მიღებით

მიეწოდება ცისტერნის ძირში. შეთბობის ასეთი მეთოდის გამოყენება მოსახერხებელია დენადი მაზუთისა და მძიმე ნავთობისათვის.

სპეციალური დანიშნულების საავტომობილო ცისტერნებში პროდუქტის გათბობა შესაძლებელია მოხდეს ძრავიდან გამონაბოლქვი ცხელი გაზებით, ცისტერნის შიგნით დაყენებული მილისებური თბომცვლელის მეშვეობით [105, 117, 118].

დიდ ბრიტანეთში დაპატენტებულია ავტოცისტერნა-კონტეინრი ბითუმის და ანალოგიური მასალების გადასაზიდად. 12 კვტ სიმძლავრის ელექტროგამაცხელებელი ელემენტები დაყენებულია ცისტერნის შიგნით და იკვებებიან მოძრავი ავტომობილის ელექტროკვების წრედიდან. დატვირთვა-განტვირთვის პუნქტებში ელექტროგამაცხელებლები ელექტროენერჯის გარე წყაროებთან. თუ შეუძლებელია ელექტრო შეთბობის გამოყენება, შეიძლება მუშაობაში ჩაერთოს პარალელურად დამონტაჟებული გაზით გათბობის მოწყობილობა.

სტაციონარული მილისებური გამაცხელებლების საერთო უარყოფით მხარეს წარმოადგენს ცისტერნის გაზრდილი მასა, აგრეთვე მოწყობილობების მიმდინარე პროფილაქტიკის სირთულე, რის გამოც ისინი ხშირად გამოდიან მწყობრიდან.

გადასატან ორთქლის მილისებურ გამაცხელებლებს ეკუთვნიან კლაკნილა გამაცხელებლები და ПГМП-4 ტიპის გამაცხელებლები.

კლაკნილა გამაცხელებელი შედგება სამი სექციისაგან შეთბობის ჯამური ზედაპირით 11,8 მ². ამ ტიპის შემათბობელის უარყოფითი მხარეა - დიდი მასა (72 კგ) და გაბარიტები, თბოგადაცემის დაბალი კოეფიციენტი, თბური ენერჯის დიდი ხარჯი. გარდა ამისა, კლაკნილა შემათბობლები ვერ უზრუნველყოფენ სარკინიგზო ცისტერნებიდან პროდუქტის სრულად ჩამოცლას.

გადასაადგილებელი ორთქლის შემათბობელის უფრო სრულყოფილ ტიპს ოთხშნეკურტუმბოიანი ჰიდრომექანიკური მოწყობილობა ПГМП-4с წარმოადგენს [1, 132], რომლის დანიშნულება სატრანსპორტო ცისტერნებიდან ბლანტი ნავთობპროდუქტების ჩამოსხმისწინა შეთბობა წარმოადგენს. შემთბობი იძლევა გადასაზიდი პროდუქტის შეთბობის და შერევის საშუალებას ცისტერნის ქვედა ნაწილში და უზრუნველყოფს უფრო სწრაფ და სრულყოფილ ჩამოსხმას კლაკნილა შემათბობელთან შედარებით.

ПГМП-4 შედგება თაროსაგან, ორი სახსრულად დაკავშირებული შემთბობი სექციისაგან, იძულებითი კონვექციის უზრუნველყოფი მოწყობილობისაგან (შნეკური ტუმბოებისაგან ელექტროამძრავით), აგრეთვე შემათბობელების მონტაჟის და დემონტაჟის სისტემებით. გაცხელებული სითხის იძულებითი მიწოდება ზრდის შემათბობელის თბურ სიმძლავრეს, რაც 3 – 4-ჯერ აჭარბებს კლასიკური თბომცვლელების ანალოგიურ მაჩვენებელს.

ჩასაყვინთ გადასატან ელექტროშემთბობებს იყენებენ ისეთი ბლანტი ნავთობპროდუქტების შესათბობად, რომლებსაც აქვთ ანთების და დაკოქსვის მაღალი ტემპერატურა. არსებობს ელექტროშემთბობების რამდენიმე კონსტრუქცია: ელექტროსათბურა ნიქრომის ღია სპირალით კერამიკულ იზოლიატორებზე, ბეკეტოვის სისტემის გასაშლელი ელექტროსათბურას სისტემა [19] , მილური შემათბობელის ტიპის გასაშლელი ელექტროსათბურები (ტენები) [55, 139]. ელექტროგამაცხელებლების განხილული კონსტრუქციები მუშაობენ ბუნებრივი კონვექციის პრინციპზე და გააჩნიათ საერთო ხარვეზი: შეთბობა ხდება მხოლოდ შემათბობელების განლაგების უბანზე, რაც იწვევს შეუთბობელი პროდუქტის მასის არსებობას ცისტერნის წინა და უკანა ზედაპირებთან და შესაბამისად ზრდის დაცლაზე დგომის დროს. გადასატანი შემთბობი მოწყობილობების მასა დიდია (200 კგ-მდე), ამიტომ საჭირო ხდება ტვირთამწევი მოწყობილობების გამოყენება.

სარკინიგზო ცისტერნებში ნავთობპროდუქტების ნარჩენების შემცირება მნიშვნელოვანია არა მარტო ცისტერნის გადაზიდვის უნარიანობის გასაზრდის, არამედ გადასაზიდი ტვირთის ხარისხის შენარჩუნების თვალსაზრისითაც. ამ მიზნით დამუშავებულია მთელი რიგი ხერხები, რომლებიც ეფუძნებიან წინასწარ შემთბარი ნავთობპროდუქტის ცირკულაციას ცისტერნის შიგნით.

ბლანტი ნავთობპროდუქტების ცირკულაციური შეთბობის მოწყობილობა YPC-2 [132] შედგება გარე თბომცვლელისაგან, ხრახნული ტიპის ტუმბოსაგან, ACH-86 ტიპის ქვედა ჩამოსასხმელი მოწყობილობისაგან, შემთბობი მოწყობილობისაგან YP-5 და შემაერთებელი მილსადენებისაგან. მოწყობილობა YP-5 უზრუნველყოფს ცისტერნის შიგნით თბომცვლელში წინასწარ შემთბარი ნავთობპროდუქტის მიწოდებას და შერევას. ამ ტიპის მოწყობილობამ კარგი რეკომენდაცია დაიმსახურა ბლანტი

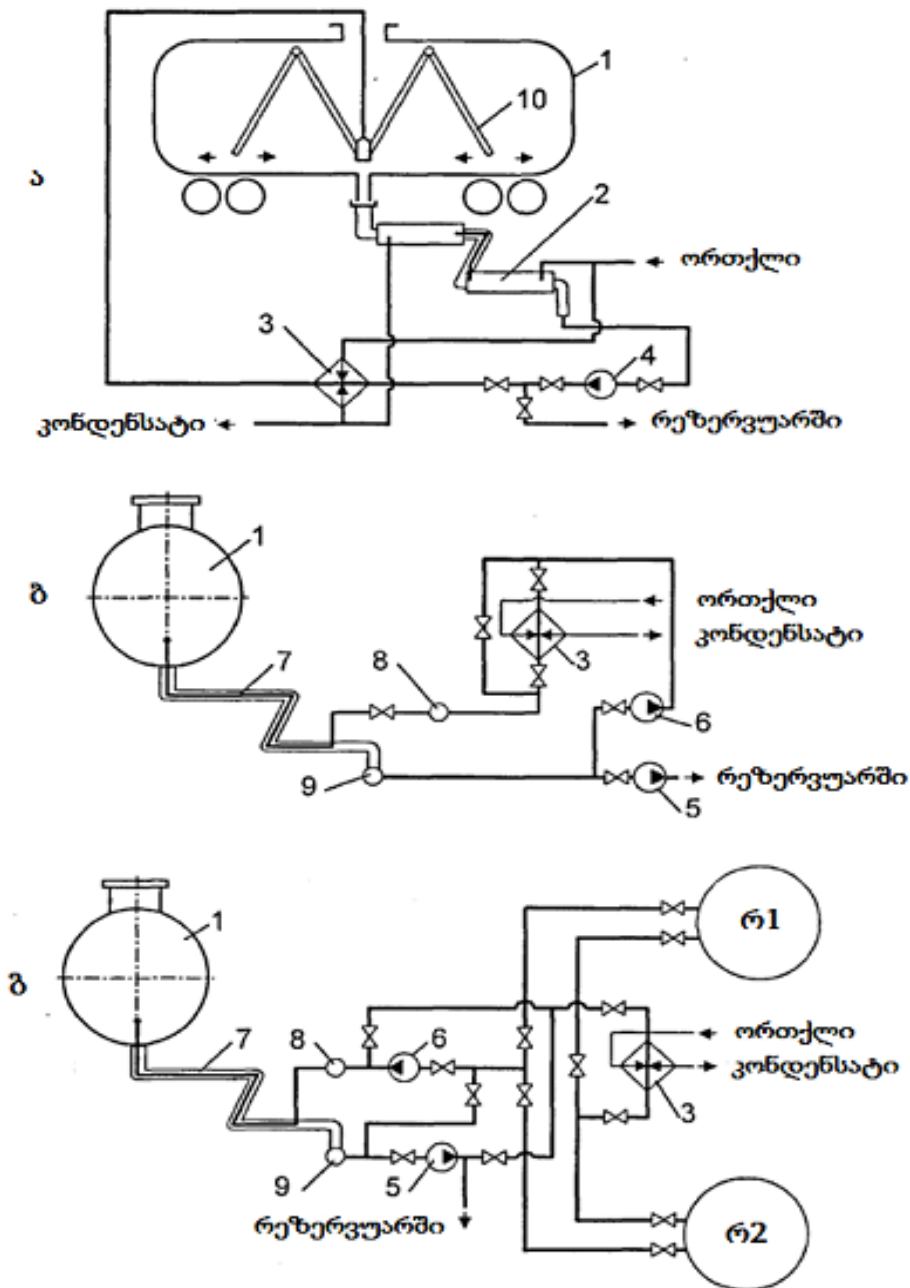
ნავთობპროდუქტების ერთეული ცისტერნებიდან ჩამოსხმის პროცესებში. მოწყობილობის უარყოფით მხარეს წარმოადგენს მისი ვებერთელა კონსტრუქცია და ეხსპლუატაციის სირთულე, აგრეთვე მოწყობილობის დაბალი ეფექტურობა სარკინიგზო შემადგენლობის რამდენიმე ცისტერნიდან ერთდროული ჩამოტვირთვის შემთხვევაში. სარკინიგზო ცისტერნებიდან ნავთობპროდუქტების ცირკულიაციური შეთბობით ჩამოტვირთვის სისტემის შემდგომი განვითარება ეფუძნება ჰერმეტიკული ჩამოსხმის მოწყობილობების YCH- 175M და YCHFM-175 გამოყენებას [4, 27, 66, 88]. ამ მოწყობილობების თავისებურებას ცისტერნის ქვედა გამოსაშვები მილსადენიდან წინასწარ შემთბარი ნავთობპროდუქტის მძლავრი ნაკადით მიწოდება და ერთდროულად შიგთავსის ნარჩენის და გაწყლიანების გარეშე ჰერმეტიკული ჩამოსხმა წარმოადგენს. ნახ. 4.2 - ზე წარმოდგენილია სარკინიგზო ცისტერნებიდან ბლანტი ნავთობპროდუქტების ნარჩენებთან ერთად ჰერმეტიზირებული ჩამოსხმის სხვადასხვა ტექნოლოგიური სქემები.

ჰიდრომონიტორის ფრქვევანას კონსტრუქციის ცვლილება გვაძლევს ცხელი ნავთობპროდუქტის მიწოდების 2,5 მეგაპასკალამდე გაზრდის საშუალებას, რაც თავის მხრივ ამცირებს ბლანტი ნავთობის შეთბობის და მისი ცისტერნიდან ჩამოსხმის დროს 50 – 70 % - ით [79]. სატრანსპორტო ცისტერნებიდან ორფაზიანი გარემოს მქონე გაზრდილი სიბლანტის ტვირთების შეთბობისა და ჩამოსხმისათვის ვ.ა. გონჩაროვის მიერ [40] შემოთავაზებულია სითბოგადამტანის ჭავლის მიწოდება განხორციელდეს ცისტერნის ზემოდან მისი ძირთან შეერთების ადგილებისაკენ. ცხელი ნავთობპროდუქტის ჭავლის მდოვრე შერევა ცისტერნის ძირის მრუდწირულ ზედაპირთან და მათი გადანაწილება მაღალი სიჩქარის მქონე ნაკადში უზრუნველყოფს პროდუქტის მყარი ფაზის (გამყარებული ნავთობპროდუქტის ნაწილაკები) გამორეცხვას ცისტერნიდან. აგრეთვე შემოთავაზებულია კედლებთან დალექილი მყარი ნაწილაკების გამორეცხვის პროცესის მათემატიკური მოდელი და ცისტერნის კედლებიდან მყარი ფაზის მოცილების დროის ანგარიშის ალგორითმი [41].

ცისტერნის მყარი ნარჩენებისაგან გასაწმენდად სამუშაოში [130] შემოთავაზებულია მოწყობილობა - ლავალის საქშენებიანი მბრუნავი თავები,

რომელშიდაც ხდება ორთქლის მიწოდება. ორთქლის გამოდინება საქმენებიდან ხდება ზებგერთი სიჩქარით.

ბლანტი ნავთობპროდუქტების დამატებითი შეთბობა რკინიგზისპირა კომუნიკაციებში აგრეთვე შეიძლება მოხდეს ჰერმეტიზირებული ქვედა ჩამოსხმის УСНПπ-175 და УСНПэ-175 მოწყობილობების გამოყენებით [15, 124] (ნახ.4.2).



ნახ 4.2. სარკინიგზო ცისტერნებიდან ნავთობპროდუქტების ცირკულაციური შეთბობით ჩამოსხმის ტექნოლოგიური სქემები

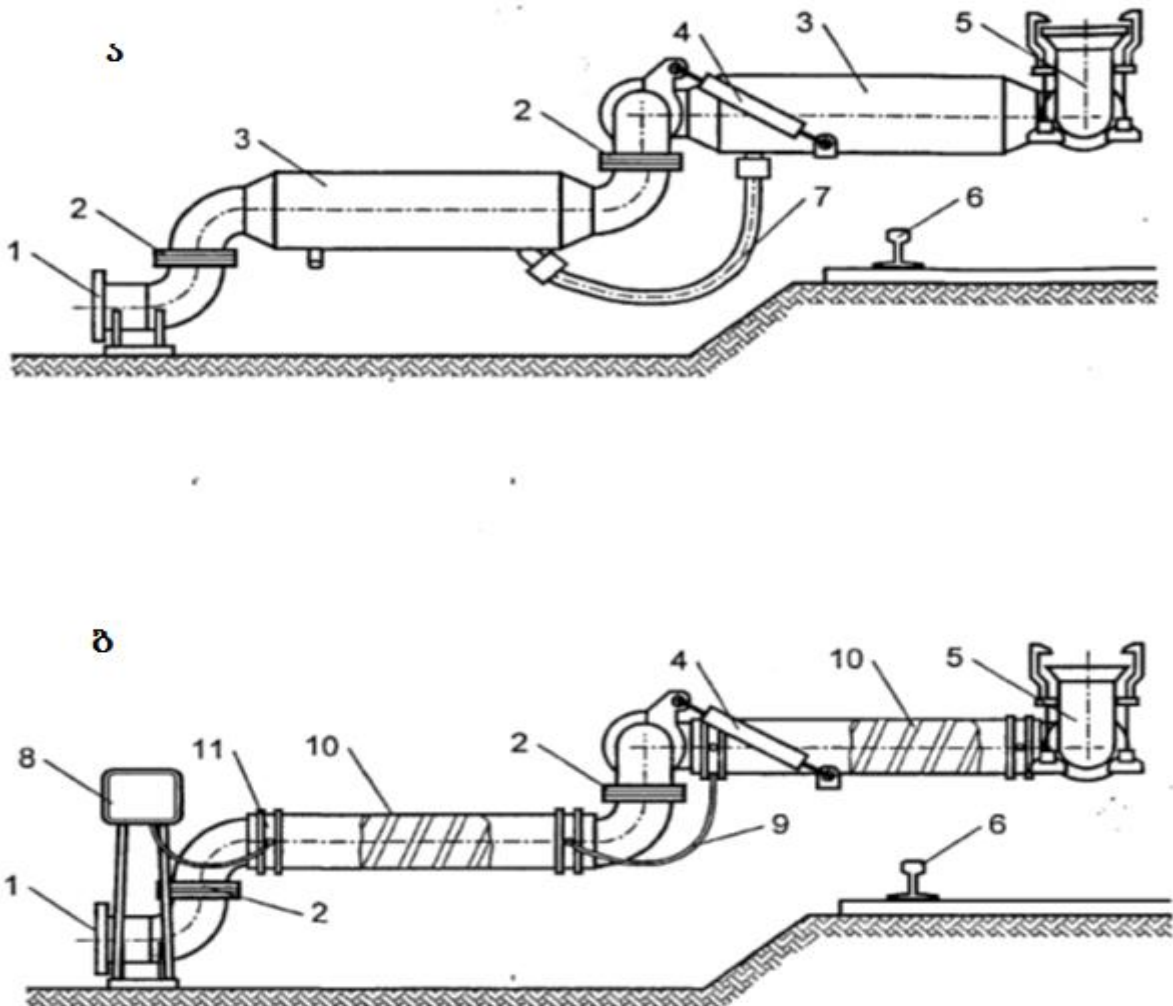
1 - სარკინიგზო ცისტერნა; 2 - მოწყობილობა ACH-86; 3 - თბომცველი; 4 - ცირკულიაციური ტუმბო; 5 - ამომქაჩი ტუმბო; 6 - ნარჩენების გამზავებელი ტუმბო; 7 - ჩამოსხმის და ნალექის მოსაცილებელი მოწყობილობა YCH-175M; 8 - დამწნევი კოლექტორი; 9 - ჩამოსასხმელი კოლექტორი; 10 - ჰიდრომონიტორული მოწყობილობა YP-5; P1, P2 – ავზები.

4.2. ბლანტი ნავთობპროდუქტების შეთბობის ხერხები საცავებიდან მათი ჩამოსხმის დროს

ბლანტი ნავთობპროდუქტების შეთბობა რეზერვუარებში უმეტეს შემთხვევებში ხდება სტაციონარული მილოვანი (კლაკნილი ან სექციური) შემათბობლების საშუალებით, რომლებიც წარმოადგენენ თხელკედლიანი მილებისაგან შექმნილ სისტემას, ჩაწყობილს რეზერვუარის ქვედა ნაწილში კლაკნილად ან ცალკეული სექციების სახით. რეზერვუარში ნავთობპროდუქტის მთელი მასის შესათბობად იყენებენ საერთო დანიშნულების შემთბობებს, ხოლო ჩამოსხმის ზონის შესათბობად – ადგილობრივ შემთბობებს [121, 126]. სითბოსგადამტან სხეულად გამოიყენება წყლის ორთქლი და იშვიატად ცხელი წყალი. ორთქლის წნევამ სტაციონარული შემათბობელის შესასვლელზე არ უნდა გადააჭარბოს 0,4 მეგაპასკალს. კონდენსატის ჩამოსასვლელად შემათბობელის მილები განლაგებული არიან 0,5 – 1,5⁰ – იანი დახრით ჰორიზონტის მიმართ. ზეთების და სხვა ბლანტი ნავთობპროდუქტების შესანახი გადასაადგილებელი ჰორიზონტალური რეზერვუარები აღჭურვილი არიან "მილი მილში" ტიპის ორთქლის შემათბობელით ან სექციური შემათბობელით [76]. ბოლო ხანებში გადასაადგილებელი რეზერვუარების შემათბობლების მილოვანი სექციები მზადდება წიბოებით.

ნახაზზე 4.3. ნაჩვენებია ბლანტი ნავთობპროდუქტების ჩამოსასხმელი მოწყობილობა სარკინიგზო ცისტერნებიდან ორთქლის (ა) და დრეკადი ელექტროგამათბობელი ელემენტით (ბ).

როგორც [137] სამუშაოშია აღნიშნული, შემთბობის მიღების ჰორიზონტალური განლაგება უზრუნველყოფს ნავთობპროდუქტის თანაბარ შეთბობას შემთბობის ზედაპირიდან მოცულობაში არსებული პროდუქტის თავისუფალ ზედაპირამდე. ამასთან შემთბობის ქვემოთ განლაგებული ნავთობპროდუქტის შრე თბება გაცილებით ცუდად, რაც თხოვს გათბობის დიდ დროს და შესაბამისად გაზრდილ საექსპლუატაციო დანახარჯებს.



ნახ. 4.3. ბლანტი ნავთობპროდუქტების ჩასასხმელი და ჩამოსასხმელი მოწყობილობა УСНПп-175 (ა) და УСНПэ-175 (ბ)

1 - მილტუჩი; 2 - სახსარი; 3 - მოძრავი სექცია ორთქლის პერანგით; 4 - ამორტიზატორი; 5 - შემაერთებელი თავი; 6 - რელსი; 7 - ორთქლგამტარი; 8 - მართვის კარადა; 9 - მეტალის სახელური; 10 - მოძრავი სექცია დრეკადი ელექტროსემთობი ელემენტით და თბური იზოლიაციით.

იმისათვის, რომ ზამთრის პერიოდში მწყობრიდან არ გამოვიდეს შემთბობი მოწყობილობა საჭიროა უზრუნველყოფილი იყოს ორთქლის უწყვეტი მიწოდება. გარდა ამისა, შემთბობის ჰერმეტიულობის დარღვევის შემთხვევაში აუცილებლად მოხდება წყლის შერევა ნავთობპროდუქტში და შედეგად ამ უკანასკნელის ხარისხის გაუარესება. მილისებური შემათბობელების ექსპლუატაციის საიმედოობის გაზრდა მიიღწევა შუალედური გაუყინავი სითბოსგადამტანის მქონე შეთბობის კომპლექსური სისტემის გამოყენებით [6; 99] (ნახ.4.4.ა). ასეთი სისტემა საშუალებას იძლევა ბლანტი ნავთობპროდუქტების შეთბობა მოვახდინოთ პერიოდულად საჭიროების მიხედვით. შუალედური სითბოსგადამტანის რანგში დაბალი სიბლანტის მქონე ზეთის გამოყენება ზრდის შეთბობის მილსადენური სისტემის ხანგამძლეობას აქტიური კოროზიული მოვლენების არარსებობის გამო. შუალედური სითბოსგადამტანის შეთბობა რეკუპერაციულ ორთქლის თბომცვლელებში იძლევა ჩაკეტილი ციკლით მუშაობის საშუალებას და უზრუნველყოფს პრაქტიკულად კონდენსატის სრულ დაბრუნებას საქვაბეში. ასეთი შეთბობის კომპლექსების გამოყენება ამცირებს ენერგოდანახარჯებს და ატმოსფეროში გამონაბოლქვი მავნე ნივთიერებების რაოდენობას.

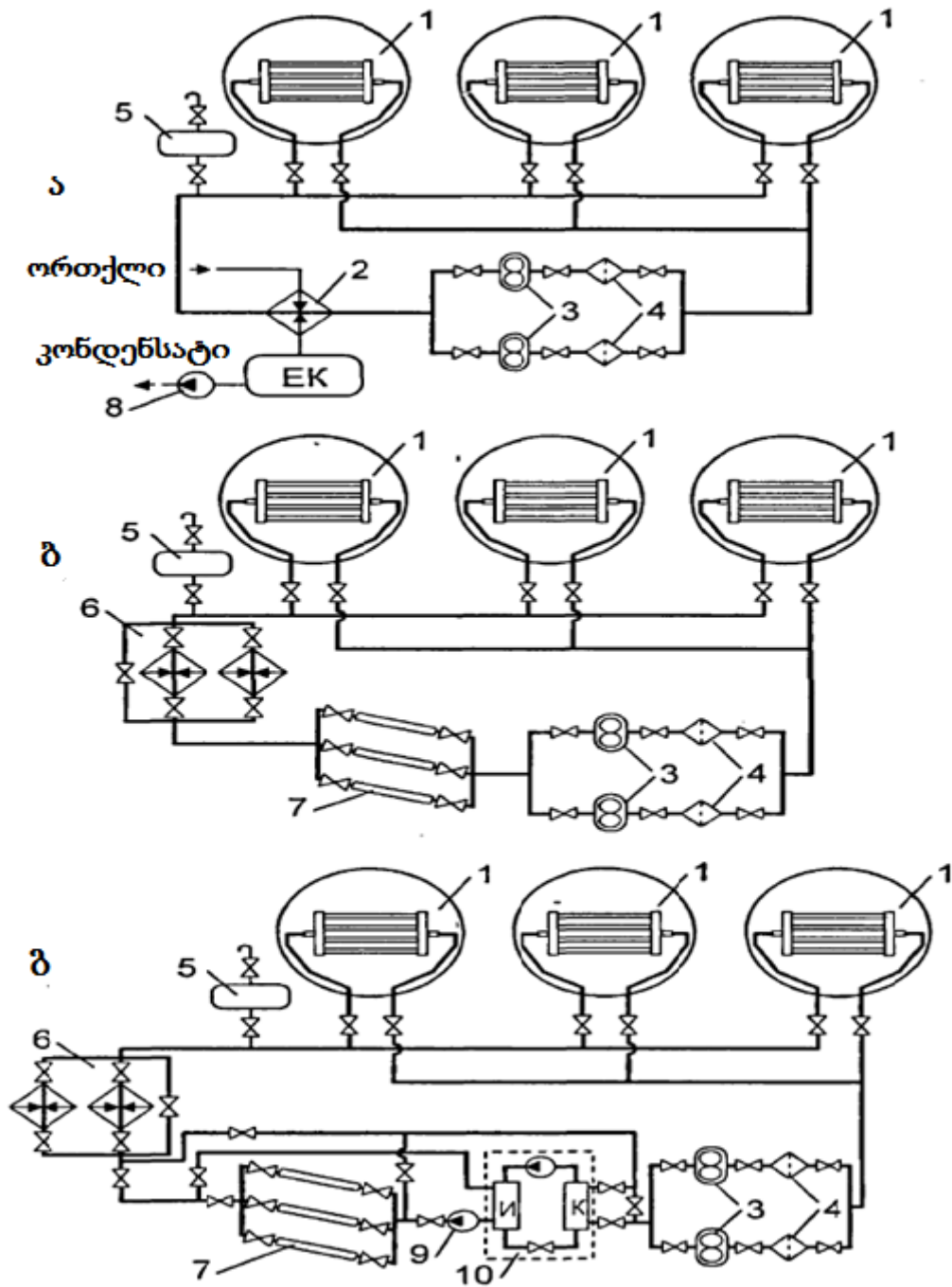
ენერგოდანახარჯების შესამცირებლად, განსაკუთრებით ზაფხულის პერიოდში რეკომენდირებულია შეთბობის კომპლექსური სისტემისათვის გამოყენებული იქნეს მზის თბური ენერგია (ნახ. 4.4. ბ), რაც მოგვცემს მნიშვნელოვან ეფექტს განსაკუთრებით მზის მაღალი რადიაციის მქონე რაიონებისათვის. შუალედური სითბოსგადამტანის შეთბობის ტემპერატურამ მზის კოლექტორებში შესაძლებელია მიაღწიოს 110°C. მზის რადიაციის დაბალი ინტენსივობის შემთხვევაში მზის კოლექტორების მუშაობაში დამატებით ჩაერთვება ორთქლის თბომცვლელი.

ბლანტი ნავთობპროდუქტების შეთბობაზე დახარჯული ენერგიის შემცირება აგრეთვე შესაძლებელია თუ კომპლექსი გამოყენებული იქნება დამატებითი თბური ტუმბო, რომელიც მუშაობს დაბალპოტენციური ბუნებრივი სითბოს წყაროს (ნახ.4.4. გ).

თბური ენერჯის ხარჯზე. თბურ ტუმბოდ შეიძლება გამოყენებული იყოს სერიული მაცივარ-მანქანა (ორთელკომპრესორიანი თბურტუმბოიანი დანადგარი). მეორადი სიბოლს წყაროდ თბური ტუმბოსათვის შეიძლება გამოყენებული იყოს ადვილადდაალებადი დაბალი სიბლანტის ნავთობპროდუქტები, წყალი არტეზიული ჭიდან, თბოცენტრალიდან გამომუშავებული წყალი, მიწისქვეშა გეოთერმული წყლები და ა.შ. ადვილადაქროლადი პროდუქტის ტემპერატურის შემცირება იწვევს მისი აორთქლებით დანაკარგების შემცირებას. ბლანტი ნავთობპროდუქტების რეზერვუარებში შესათობად მილოვან შემთბობებთან ერთად გამოიყენება სხვადასხვა სახის სტაციონარული და გადასატანი ელექტრული შემათბობელები.

ელექტროსათბური ГПНЦ [139] 18 კვტ სიმძლავრით გამოიყენება ბლანტი ნავთობპროდუქტების (ზეთების) შესათობად ჰორიზონტალურ ჭურჭლებში. ორი სახსრულად შეერთებული შემთბობი სექცია (ტენი) ჩაიყვინთება რეზერვუარის ზედა სახურავიდან და განთავსდება შიგნით, რაც უზრუნველყოფს პროდუქტის ადგილობრივ შეთბობას.

ნავთობპროდუქტების შესათობად 75 მ³ – მდე ტევადობის გამანაწილებელ რეზერვუარებში გამოიყენება ГР-9 ტიპის სტაციონარული ელექტროსათბური, რომელიც დამუშავებულია როგორც მიწისზედა, ასევე მიწისქვეშა ჰორიზონტალური რეზერვუარებისათვის. შემთბობი კონსტრუქციულად შეთავსებულია რეზერვუარის ამწევ მილთან და მისი დანიშნულებაა პროდუქტის იმ ნაწილის შეთბობა რომელიც ექვემდებარება ჩამოისხას. ამავდროულად ნავთობპროდუქტის ძირითადი ნაწილი რეზერვუარში რჩება ცივი.



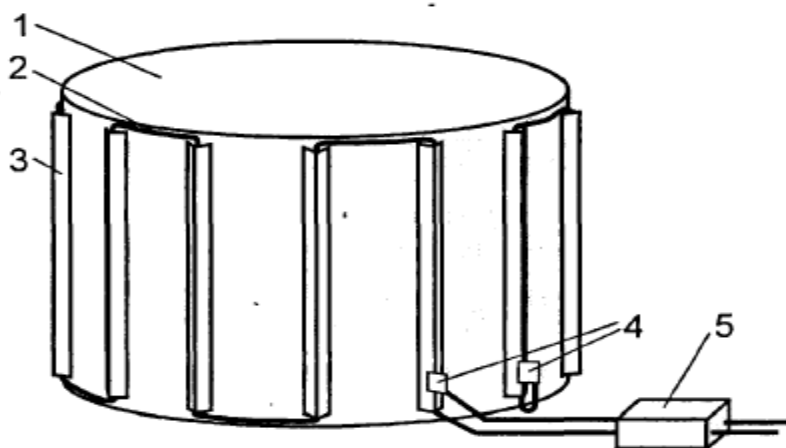
ნახ.4.4. ბლანტი ნავთობპროდუქტების შეთბობის კომპლექსური სისტემების ტექნოლოგიური სქემები

1 - რეზერვუარი სექციური მილოვანი შემთბობებით; 2 - თბომცვლელი;
 3 - ტუმბო; 4 - ფილტრი; 5 - გამაფართოებელი საკანი; 6 - სარეზერვო თბომცვლელის ბლოკი; 7 - მზის კოლექტორების ბლოკი; 8 - საქვაბეში წყლის ასაქაჩი ტუმბო; 9 - ცირკულიაციური ტუმბო; 10 - თბური ტუმბო; EK - ჭურჭელი კონდენსატის შესაგროვებლად; II - ამორთქლებელი; K - კონდენსატორი.

ანალოგიურადაა მოწყობილი ტივტივასმაგვარი მილური ელექტრობამათბობელი НП12 [124], რომელიც სხვა მოწყობილობებისაგან განსხვავებით აღჭურვილია ტინტივასთან შეთავსებული შემზღუდველი საკნით. ნავთობპროდუქტის გათბობა ხდება შეზღუდული საკნის მოცულობაში. ელექტროგამთბობის სიმძლავრე შეადგენს 12 კვტ - ს.

БЭР ტიპის ჩასაყვინთი ელექტროშემთბობები [22] გამოიყენება ნებისმიერი კონსტრუქციის რეზერვუარებში ისეთი ბლანტი და გამყარებადი ნავთობპროდუქტების შესათბობად, რომელთა აფეთქების ტემპერატურა 80°C -ზე არანაკლებია. მოდიფიკაციის მიხედვით შემთბობები არსებობენ 6, 9, 12 და 18 კილოვატი სიმძლავრის. ისინი უზრუნველყოფენ შეთბობის ტემპერატურას 50°C - დან 90°C -მდე. ზოგიერთი ელექტროგამაცხელებლის ბლოკი ყენდება სტაციონარულად და პროდუქტს ათბობს მხილოდ რეზერვუარიდან მისი ამოღების ადგილას.

ფოლადის თბოიზოლაციური საცავების და მილსადენების გარედან შესათბობად ა.ვ. სინინსკის [109] მიერ შემოთავაზებულია ორიგინალური მოწყობილობა. რეზერვუარის საგამოცდო მოდელზე თანაბარი ინტერვალით ერთიანი ნაკერით მიდუღებული იყო ფოლადის კუთხოვანები. კუთხოვანების და რეზერვუარის გარე ზედაპირის მიერ შექმნილ სივრცეში ზიგზაგისებურად იდება 50 მმ² კვეთის მქონე სპეციალური კაბელი (ნახ.4.5).



ნახ. 4.5. ფოლადის რეზერვუარების ელექტროშემთბობი მოწყობილობა

1 - რეზერვუარის კორპუსი; 2 - სპეციალური ელექტროკაბელი; 3 - ფოლადის კუთხოვანა; 4 - საკონტაქტო ფირფიტები; 5 - გამყოფი ტრანსფორმატორი

სამრეწველო სიხშირის დენი გამყოფი ტრანსფორმატორის გავლით მიეწოდება სპეციალურ კაბელს, და გამტარის საკონტაქტო ფირფიტასთან მოკლედ ჩართვის შემდეგ ბრუნდება უკან ტრანსფორმატორში. ელექტრული ველების ურთიერთქმედების ეფექტის საფუძველზე დენის მრავალჯერადი მარყუჟისებური მოძრაობის შედეგად ცისტერნის კედელში ეს უკანასკნელი ცხელდება $40 - 45^{\circ}\text{C}$ - მდე. ავტორი გვთავაზობს ამ ტიპის მოწყობილობის გამოყენებას ბლანტი ნავთობპროდუქტების შესათბობად თბოიზოლირებულ საცავებში. ამ მეთოდის უპირატესობას მცირე ტევადობის რეზერვუარებში შენახული ბლანტი ნავთობპროდუქტის მთლიანი მასის თანაბარი შეთბობა წარმოადგენს. რეზერვუარის ტევადობის გაზრდით მკვეთრად იზრდება ელექტროენერჯის ხარჯი.

4.3. სატრანსპორტო მოცულობიდან ჩამოსხმის პროცესში ბლანტი ნავთობის შემთბობი მოწყობილობა

შემოთავაზებული მოწყობილობის დანიშნულებაა ბლანტი ნავთობის და ნავთობპროდუქტების შეთბობა მათი სატრანსპორტო ცისტერნებიდან ჩამოსხმის დროს დაცლის პროცესის სრულყოფის და დაჩქარების მიზნით. მოწყობილობის ტექნიკური შედეგი მდგომარეობს ჩამოსხმის დროის შემცირებაში ენერგოდანახარჯების გაზრდის გარეშე. მეთოდის არსი იმაში მდგომარეობს, რომ შემოთავაზებულია ზემოაღნიშნული სიხშირული წყაროს გამოსხივების გამაცხელებელი სიმძლავრე - ელექტრომაგნიტური გამოსხივება, რომელიც მოიცავს რადიოტალღების დეციმეტრულ, სანტიმეტრულ და მილიმეტრულ დიაპაზონს (ტალღის სიგრძე 1 მეტრიდან - სიხშირე 300 მეგაჰერციდან 300 გიგაჰერცამდე. თუმცა საზღვრები ინფრაწითელ ტერაჰერცულ მიკროტალღურ გამოსხივებასა და ულტრამაღალსიხშირიან რადიოტალღებს შორის მიახლოებითია და შეიძლება განისაზღვრონ სხვადასხვა სახით. დიდი ინტენსივობის მიკროტალღური გამოსხივება გამოიყენება სხეულების უკონტაქტო გასათბობად, მაგალითად, შეზღუდული მოცულობის ნავთობის მასის გასათბობად. ამასთან ნავთობის

მოცულობის ნაწილი შემოზღუდულია რადიომშთანთქმელი მასალით, რომელიც წარმოქმნის გასასვლელებს ამავე მასალისაგან დამზადებულ ფირფიტებს შორის და განტავსებულია ჩამოსასხმელი მოწყობილობის უბანზე. საჭიროა შესრულდეს პირობა, რომლის დროსაც ზემოაღნიშნული წყაროს მიერ გამოსხივებული მთელი სიმძლავრე შთაინთქას ამ შემოსაზღვრულ მოცულობაში და ეს სიმძლავრე საკმარისი უნდა იყოს ჩამოსასხმელი მოწყობილობის უბანზე ისეთი ტემპერატურის მისათწევად, რომელიც უზრუნველყოფს ჩამოსხმის ნორმალურ რეჟიმს.

ცნობილია სარკინიგზო ცისტერნებში ნავთობის შეთბობის ხერხი ცისტერნის ორი ინდუქციური ხვითთ გარსშემოვლების გზით. მაგრამ ამ ხერხით ქვემოთ აღწერილი ტექნიკური შედეგის მიუღწევლობის მიზეზს წარმოადგენს ის, რომ ცნობილი მეთოდის გამოყენების დროს ადგილი აქვს სითბოს დიდ დანაკარგებს ცისტერნის გარე სივრცის შეთბობაზე, რადგანაც ინდუქტორების მიერ პირველად ხდება ცისტერნის მეტალის შეთბობა, რომელიც სითბოს გადასცემს როგორც შიგთავსს - ნავთობს სითბოსგადაცემის საფუძველზე, ასევე გარემოს კონვექციური თბოცვლის საშუალებით. ნავთობის შეთბობის დრო ისეთ ტემპერატურამდე, რომლის დროსაც იწყება მისი ნორმალური ჩამოდინება ცამოსასხმელი მოწყობილობიდან თანაზომადია ცისტერნიდან ნავთობის ჩამოდინების დროის.

აგრეთვე ცნობილია ელექტროსათბურით ცისტერნებში ნავთობის შეზღუდული რაოდენობის შეთბობის ხერხი, რომლის დროსაც მილის შიგნით და გარეთ თბება ნავთობის უმნიშვნელო რაოდენობა. ამ შემთხვევაშიდაც გამწვანებულია სასურველი შედეგის მიღწევა, რადგანაც მილისებური ელექტროსათბურის გაცხელებული ზედაპირების გარშემო ნავთობის დაბალი სითბოგამტარობის გამო (ნავთობის სითბოგამტარობის კოეფიციენტი $\lambda_r = 0,156$ ვტ/მ² K), ხოლო კონვექციური თბოცვლა პრაქტიკულად არ ხდება ნავთობის დიდი სიბლანტის გამო ცივ მდგომარეობაში. შემთბარი ნავთობის რაოდენობა არასაკმარისია ჩამოსასხმელი მოწყობილობის ნორმალურ რეჟიმზე მუშაობისათვის. რის გამოც ნავთობის ჩამოსხმის დრო იზრდება. შემთბობი სიმძლავრის გაზრდა უფრო სწრაფად შეთბობის მიზნით ხმის შემთხვევაში შეზღუდულია კონსტრუქციული თავისებურებებით, აგრეთვე შეიძლება მოხდეს პროდუქტის გადახურება ელექტროსათბურის მილების ახლოს, რაც წარმოქმნის

ხანძარსაშიში მდგომარეობის შემთხვევას. იგივე დანიშნულების ყველაზე უფრო ახლოს მდგომ მეთოდს შემოთავაზებული მოწყობილობისათვის ნიშან-თვისებების ერთობლივობით წარმოადგენს ნავთობის შეთბობა ჩამოსხმის დროს, რაც მოიცავს შეზღუდული ზედაპირის ფართობის მქონე ნავთობის მოცულობის შეთბობას ზემადალი სიხშირული წყაროს გამოსხივებით.

მეთოდის არსი შემდეგში მდგომარეობს. განასხვავებენ ზედაპირული გამათბობელებით ნავთობის მთლიანი მოცულობის ან ჩასაყვინთი გამათბობელით მისი ნაწილის შეთბობას როგორც სრული შამოსხმისათვის ასევე გარკვეული საჭირო რაოდენობისათვის. მთელი მოცულობის შეთბობა ხდება ორთქლით, ინდუქციური მეთოდით. ასე მაგალითად, 50 მ³ ტევადობის ცისტერნის ინდუქციური მეთოდით შესათბობად 160 კვტ/სთ სიმძლავრის შემთბობი მოწყობილობით შეთბობისა და ჩამოსხმის დრო ჯამში შეადგენს 6 საათს. ჩასაყვინთ შემთბობებს განეკუთვნებიან ელექტროსათბურები. ელექტროსათბურებით შეთბობისას ნავთობის ცუდი სითბოგამტარობის გამო თბება მხოლოდ უმნიშვნელო ფენა სათბურის ზედაპირთან ახლოს. ასე მაგალითად, თუ ჩამოსასხმელი შესათბობი მოწყობილობის სიმძლავრე შეადგენს 4,2 კვტ - ს, გაცხელებული ნავთობის შრის სისქე შეადგენს 1 – 3 მმ-ს. ხოლო შრის სისქე უფრო მძლავრი შემათბობლების გამოყენების შემთხვევაში აღწევს რამდენიმე სანტიმეტრს. მაგრამ შემთბარი ნავთობის ეს რაოდენობაც კი ნაკლებია ჩამოსასხმელი მოწყობილობის გამტარუნარიანობაზე. სიმძლავრის გაზრდა ხშირად შეზღუდულია რეზერვუარების კონსტრუქციული თავისებურებებით, სარკინიგზო ცისტერნებისათვის ეს შეიძლება იყოს ნავთობის ჩასასხმელი ყელების შეზღუდული ზომები. ზედაპირული ან ჩაყვინთვით შეთბობის დაბალი ეფექტურობის შემთხვევაში იყენებენ ნავთობის მცირეზომიან რეზერვუარებში შეთბობის მეთოდს მისი ძირითად რეზერვუარში შემდგომი გადატუმბვით. მაგრამ ძირითადი რეზერვუარიდან ბლანტი ნავთობის ჩამოსასხმის დასაჩქარებლად ეს მეთოდი არ გამოდგება.

თუმცა შესაძლებელია შეიზღუდოს ნავთობის ნაწილი ნავთობსაცავში, მაგალითად, ჩამოსასხმელი მოწყობილობის უბანზე, საერთო მოცულობიდან ამ შეზღუდულ მოცულობაში ცივი შრეების გადასვლის გზით შეიძლება მივაღწიოთ ჩამოსასხმელი მოწყობილობის მწარმოებლობის გაზრდას. ჩამოსხმის დრო მცირდება,

თუ შეზღუდული მოცულობის შეთბობა შემთბობი სიმძლავრით ხდება ისევე, როგორც ეს ხდება ერთიანი მოცულობის შეთბობის შემთხვევაში. ეს განპირობებულია იმით, რომ შეთბობის სიჩქარე ტემპერატურის ექსპონენციალური ცვლილების დროს მაქსიმალურია შეთბობის დასაწყისში და შემდგომ ხდება მისი დაქვეითება. მთელი მოცულობის ჩამოსხმის ტემპერატურამდე შეთბობისას, როდესაც ხდება ნავთობის ნორმალური რეჟიმით ჩამოდინება, შეთბობა სრულდება სრულდება დაბალი სიჩქარეებით. თუ თბება მთლიანი მოცულობის ნაწილი, მაშინ შეთბობა სრულდება მაღალი სიჩქარეებით. თუ შევკრებთ მცირე მოცულობების შეთბობის დროებს, ჯამი იქნება უფრო მცირე ნავთობის მთელი მოცულობის შეთბობის დროზე ენერჯის ერთი და იგივე დანახარჯების შემთხვევაში.

ტექნიკური შედეგი, რომელიც შეიძლება მივიღოთ სატრანსპორტო ცისტერნაში ბლანტი ნავთობის შეთბობის შემოთავაზებული, ახალი მეთოდის განხორციელების საფუძველზე მდგომარეობს ჩამოსხმის დროის შემცირებაში ენერჯის უცვლელი დანახარჯების შემთხვევაში. აღნიშნული ტექნიკური შედეგი ახალი მეთოდის გამოყენების დროს მიიღწევა იმით, რომ ჩამოსხმის დროს ნავთობის შეთბობის ცნობილი მეთოდი მოიცავს ზემაღალი სიხშირული წყაროს გამოსხივებით შემთბარი შეზღუდული ზედაპირის მქონე ნავთობის მოცულობის წარმოქმნას. თავისებურება მდგომარეობს იმაში, რომ საცავში ნავთობის საერთო მოცულობის ნაწილი ჩამოსასხმელი მოწყობილობის უბანზე შემოისაზღვრება რადიოჩამხშობი მასალით, ამასთან, შემოსაზღვრული ნავთობის მოცულობა აიღება ისეთი, რომ ზემარალსიხშირული წყაროს მიერ გამოსხივებული მთლიანი სიმძლავრე სრულად იყოს შთანთქმული ამ მოცულობის მიერ, ხოლო სიმძლავრის სიდიდე საკმარისი იყოს ჩამოსასხმელი მოწყობილობის უბანზე ნორმალური ჩამოსხმის რეჟიმის მისაღწევად.

თბოცვლის პროცესი შეზღუდულ ჩაკეტილ სივრცეში მიღებულია განხილული იყოს სითბოს სითბოგამტარობის გზით გადაცემის ანალოგიურად, ამიტომ იმ არასტაციონარული თბური რეჟიმის აღსაწერად, რომელსაც ადგილი ექნება ნავთობის შიგა ენერგეტიკული წყაროებიდან შეთბობისას, როგორსაც ზემაღალსიხშირული გამოსხივება წარმოადგენს, ვისარგებლოთ გამოსახულებით

$$t = t_c + P/m_o c + (t_o - t_c - P/m_o c)e^{-m_o(\tau - \tau_o)} \quad (4.2)$$

სადაც t - ნავთობის მიმდინარე ტემპერატურაა; t_c - გარემოს ტემპერატურაა; t_o - ნავთობის საწყისი ტემპერატურაა; m_o - ნავთობის გაცხელების ტემპია; C - ნავთობის სითბოტევადობაა; P - ზემადალსიხშირული წყაროს გამოსხივების სიმძლავრეა; τ - მიმდინარე დროა; τ_o - საწყისი დროა.

გავამარტივოთ გამოსახულება (4.2) და წარმოვადგინოთ $\tau_o = 0$ ი $t_c = t_o$ მივიღებთ

$$t = t_o + P/m_o c - P/m_o c * e^{-m_o \tau} \quad (4.3)$$

გამოვსახოთ (4.3) - დან ნავთობის შეთბობის დრო ტემპერატურამდე, როდესაც იწყება მისი ცამოდინება ცისტერნიდან

$$\tau = \ln\{P/[P - (t_{cл} - t_o)m_o c]\}/m_o \quad (4.4)$$

თავის მხრივ $c = c_p \rho V$, $m_o = \varphi \alpha A / c$

სადაც c_p - ნავთობის კუთრი სითბოტევადობაა;

ρ - ნავთობის სიმკვრივეა;

φ - ტემპერატურული ველის უთანაბრობის კოეფიციენტი, რომელიც

რეგულიარული რეჟიმის სტადიაზე ტოლია ზედაპირული და მოცულობითი გადახურებების ფარდობის;

α - სითბოსგაცემის კოეფიციენტი;

A - ფართობია, რომელიც საზღვრავს მოცულობას.

მთლიანი საცავის V მთელი მოცულობა ნავთობისათვის გამოსახულება (4.4)

გადავწეროთ შემდეგი სახით

$$\tau_V = C_p \rho V \ln\{P/[P - (t_{cл} - t_o)\varphi \alpha A_V]\}/\varphi \alpha A_V$$

თუ დავყოფთ ნავთობის მთელ V მოცულობას მცირე $u = V/n$ მოცულობებად და u მოცულობას შევათბობთ იგივე P სიმძლავრით მივიღებთ τ_u დროს, რომელშიდაც ნავთობის ტემპერატურა მიაღწევს ჩამოსხმის ტემპერატურის მნიშვნელობას $t_{cл}$.

$$\tau_u = C_p \rho V \ln\{P/[P - (t_{cл} - t_o)\varphi \alpha A_V]\}/\varphi \alpha A_V n,$$

სადაც $A_u < A_V$.

თუ შევკრებთ u მოცულობების შეთბობის n დროებს მივიღებთ

$$n\tau_u = C_p \rho V \ln\{P/[P - (t_{cл} - t_o)\varphi \alpha A_u]\}/\varphi \alpha A_u$$

შეთბობის დროების ფარდობა ჩამოსხმის ტემპერატურის მიღწევამდე იქნება

$$\tau_V/n\tau_u = A_u \ln\{P/[P - (t_{cл} - t_o)\varphi \alpha A_V]\}/\rightarrow A_V \ln\{P/[P - (t_{cл} - t_o)\varphi \alpha A_u]\}$$

თვალსაჩინოებისათვის ავიღოთ კუბური ფორმის ნავთობშესანახის მოცულობა V , წიბოს სიგრძით h და კუბის ფორმის შეზღუდული მოცულობა u წიბოს ერთეული სიგრძით ისე, რომ $h > 1$, მაშინ $A_u = 6$, $A_v = 6h^2$

$$\tau_v/n\tau_u = \ln\{P/[P - 6(t_{ct} - t_o)\varphi\alpha h^2]\} / \rightarrow h^2 \ln\{P/[P - 6(t_{ct} - t_o)\varphi\alpha]\}, \quad (4.5)$$

გამოვთვალოთ გამოსახულება (4.5), მაგალითად, შემდეგი მნიშვნელობებისათვის: $h = 6$ მ, $P = 150000$ ვტ, $t_{ct} = 20^\circ\text{C}$, $t_o = -10^\circ\text{C}$, $\varphi = 0,8$, $\alpha = 20$ ვტ/მ²K. მივიღებთ $\tau_v/n\tau_u = 1,63$,

ანუ მცირე მოცულობების შეთბობის ჯამური დრო $n\tau_u$ 1,63 – ჯერ მცირეა მთლიანი მოცულობის შეთბობის τ_v დროზე. ანუ, მცირე მოცულობების შეთბობის ჯამური დრო $n\tau_u$ 1,63 – ჯერ ნაკლებია მთლიანი მოცულობის შეთბობის τ_v დროზე. შეთბობის და ჩამოსხმის პროცესების თანხვედრის დროს მოცულობის და ამ მოცულობის შემომსაზღვრელი ზედაპირის ფართობის A_u შერჩევით, შეიძლება ჩამოსხმის უბანზე მივიღოთ პროდუქტის ჩამოსხმის მუდმივი ტემპერატურა ზემარალსიხშირული გამოსხივების წყაროს ცნობილი სიმძლავრისას. ასეთ შემთხვევაში u მოცულობის შეთბობის τ_u დრო ტოლი იქნება პროდუქტის ჩამოსხმის დროის და (4.5) გამოსახულებით ნაჩვენები დროის ეკონომია შენარჩუნებული იქნება და პირიქით, თუ მოცემული იქნება მოცულობა V და ზედაპირის ფართობი A_u , ზემარალსიხშირული წყაროს სიმძლავრის P ცვლილებით შეიძლება მივაღწიოთ ჩამოსასხმელი ნავთობის ტემპერატურის მუდმივობას ჩამოსხმის ზონაში. ნავთობის მოცულობა U შეირჩევა ხარჯის G განტოლებიდან როდესაც $\tau_{ct} = \tau_u$

$$G = \rho\omega S = u\rho/\tau_u \quad (4.6)$$

სადაც S - ჩამოსასხმელი მოწყობილობის განივკვეტის ფართობია; ω - ჩამოსხმის სიჩქარეა ჩამოსასხმელ მოწყობილობაში.

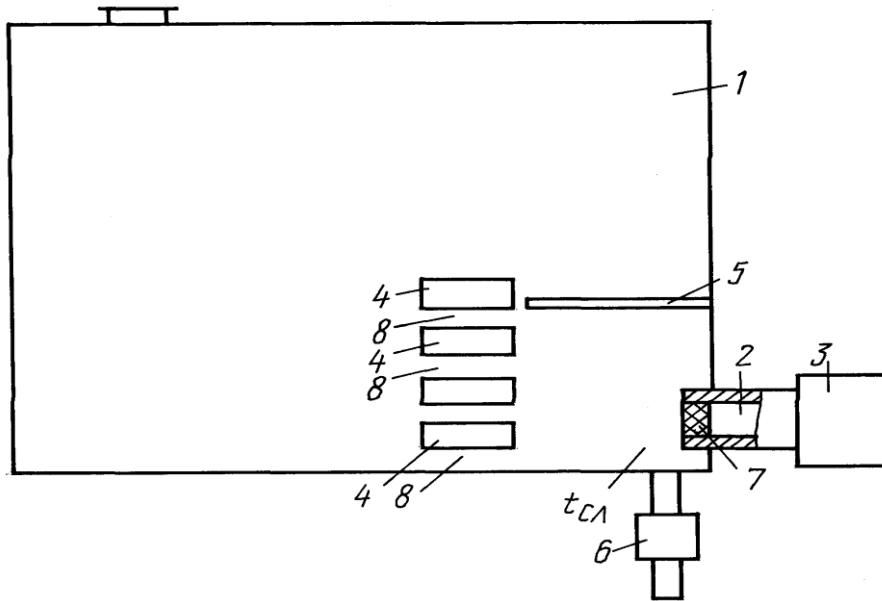
გასაცხელებელი მოცულობა u შეზღუდულია რადიოჩამხშობი მასალით, რომელსაც აქვს გასასვლელელები ცივი ნავთობის მისაწოდებლად, და საერთო საცავის კონსტრუქციის ელემენტებით. რადიოჩამხშობების კონსტრუქცია შესაძლებელია იყოს სხვადასხვა, რადიოჩამხშობი მასალის ძირითადი დანიშნულებაა – ელექტრომაგნიტური ველის ენერგიის სითბურ ენერგიად გარდაქმნა იმდაგვარად, რომ შეზღუდული მოცულობის საზღვრებს გარეთ გავიდეს ზემარალსიხშირული გამოსხივების მხოლოდ მცირე ნაწილი, ან საერთოდ ვერ გავიდეს.

შემოთავაზებული მეთოდი არ ეფუძნება პროცესზე რაოდენობრივი წარმოდგენების ცვლილებას, მათ ურთიერთკავშირში წარმოდგენას, ან მათ სახესხვაობას. მხედველობაშია შემთხვევა, როდესაც ცნობილია აღნიშნული წარმოდგენებიდან ყოველი მათგანის გავლენის ფაქტი ტექნიკურ შედეგზე, და ამ წარმოდგენების ახალი მნიშვნელობები ან მათი ურთიერთკავშირი შეიძლება მიღებული იყოს ცნობილი დამოკიდებულებებიდან, კანონზომიერებებიდან.

ნახაზზე 4.6 მოცემულია ნავთობსაცავი (1), ტალღებგამტარი (2), ზემალა-სიხშირული გამოსხივების წყარო (3), რადიოჩამხშობი მასალა (4), მეტალის ეკრანი (5), ჩამოსასხმელი მოწყობილობა (6), რადიოგამჭვირვალე სადები (7), გასასვლელები (8). ჩამოსხმის ტემპერატურა t_{cr} კონტროლდება თერმოგადამწოდით.

მსჯელობა, რომელიც ამტკიცებს შემოთავაზებული მეთოდის განხორციელების შესაძლებლობას ეფექტური ტექნიკური რეზულტატის მიღებით მოგვყავს სემდეგი ტანმიმდევრობით. ნავთობსაცავის 1 ნაწილს შემოსაზღვრავენ რადიოჩამხშობი მასალით (4) და მეტალის ეკრანით (5) ჩამოსასხმელი მოწყობილობის (6) უბანზე ისე, რომ წარმოიქმნას u მოცულობა, რომელიც შეზღუდულია A_u ზედაპირის ფართობით გასასვლელებისაგან (8). ნავთობსაცავის ერთ – ერთი საერთო კედლიდან და შეზღუდული მოცულობიდან შეჰყავთ გამაცხელებელი სიმძლავრე ზემალა-სიხშირული გამოსხივების წყაროდან (3) ტალღებგამტარის და რადიოგამჭვირვალე სადების 7 გავლით.

ტემპერატურის განაწილების ანალიზური გამოსახულების მიღება რადიოჩამხშობი მასალით გამოყოფილი შეზღუდული მოცულობის შიგნით შეუძლებელია ნავთობსაცავის კონსტრუქციის სხვადასხვაობის, გამოყოფილი მოცულობის შემომსაზღვრელი ზედაპირების რთული კონფიგურაციის, რადიოჩამხშობი მასალის რთული კონსტრუქციის და შეზღუდულ მოცულობაში შემთბობი სიმძლავრის განაწილების შეფასების სირთულის გამო.



ნახ.4.6. ბლანტ ნავთობზე და ნავთობპროდუქტზე თბური ზემოქმედების ხერხი მათი საცავიდან ჩამოსხმის დროს

ელექტრომაგნიტური ტალღის შეღწევის სიღრმე δ_E რომელზედაც ელექტრული ველის დაზაბულობა შემცირდება e - ჯერ განისაზღვრება

$$\delta_E = \lambda / \pi \sqrt{\epsilon'} \operatorname{tg} \delta$$

სადაც e - ნატურალური ლოგარითმის ფუნქცია;

ϵ' - ნავთობის დიელექტრული შეღწევადობაა;

$\operatorname{tg} \delta$ - ნავთობის დიელექტრული დანაკარგების კუთხის ტანგენსია ;

λ - გამოსხივების ტალღის სიგრძეა.

თუ ჩავსვავთ ნედლი ნავთობისათვის ცნობილ მნიშვნელობებს $\epsilon' = 4,2$; $\operatorname{tg} \delta = 0,088$; $\lambda = 33$ სმ, მივიღებთ $\delta_E \cong 60$ სმ. სიმძლავრე P ამ მანძილზე შემცირდება დაახლოებით 7 - ჯერ, რადგანაც ის დამოკიდებულია ელექტრული ველის დაზაბულობის კვადრატზე და თუ ის შეადგენს 150 კვტ - ს, მაშინ 60 სმ მანძილზე ტალღაგამტარის გულადან ის იქნება 20 კილოვატი, რომელიც დაიხარჯება რადიოჩამხშობი მასალის 4 გათბობაზე. ამრიგად, ზემაღალი სიხშირული წყაროს 4 მიერ გამოსხივებული მთელი სიმძლავრე იხარჯება შეზღუდული მოცულობის ნავთობის შეთბობაზე. ჩამოსხმის დროს გასასვლელებში 8 გამავალი ნავთობი თბება

რადიოჩამხშობი მასალისაგან 4 მცირე სასაზღვრო ფენაში შეხების სიბრტყეში, შემდეგ ხვდება შეზღუდულ მოცულობაში სადაც იგი საბოლოოდ თბება ჩამოსხმის ტემპერატურამდე t_{cz} . ჩამოსხმის ტემპერატურა ჩამოსასხმელი მოწყობილობის უბანზე კონტროლდება და ნარჩუნდება ზემოაღნიშნული წყაროს გამოსხივების სიმძლავრის რეგულირებით, რადგანაც ცისტერნაში ჩასხმული სხვადასხვა ნავთობი შეიძლება განსხვავდებოდნენ თავისი შემადგენლობით, განსაკუთრებით კი წყლის შემცველობით, რის გამოც შეღწევადობის სიღრმე δ_E იქნება სხვადასხვა.

ამრიგად, ყოველივე ზემოთთქმული მოწმობს შემოთავაზებული მეთოდის გამოყენების შემთხვევაში შემდეგი პირობების შესრულებას:

– შემოთავაზებული ტექნიკური საშუალების დანიშნულებაა მისი სამრეწველო მიზნებით გამოყენება; კერძოდ, ნავთობმოპოვების, ნავთობგადამუშავების და ენერგეტიკის სფეროებში.

– შემოთავაზებული მეთოდისათვის იმ სახით, როგორც ის დახასიათებულია ზემოთ, დასაბუთებულია მისი განხორციელების შესაძლებლობა.

4.4 . მეოთხე თავის დასკვნები

1. შემთბობი მოწყობილობების გამოყენებამ შეიძლება უზრუნველყოს რეზერვუარებში საჭირო ტემპერატურის შენარჩუნება ბლანტი ნავთობის და ნავთობპროდუქტების შენახვის და ტრანსპორტირების პროცესში, რაც მნიშვნელოვნად ამცირებს ჩასხმა – გადმოსხმის ოპერაციების დროს და გამორიცხავს სატრანსპორტო სასუალებების უქმად დგომას.

2. ენერგოდანახარჯების შემცირების მიზნით რეკომენდირებულია მზის ენერგიაზე მომუშავე ნავთობის შეთბობის კომპლექსური სისტემების გამოყენება, რაც იძლევა შესაძრწევ ეფექტს მზის მაღალი რადიაციით გამორჩეულ რეგიონებში (ასეთებს

წარმოადგენენ საქართველოს შავი ზღვის პორტები). შუალედური სითბოსგადამტანების ტემპერატურამ მზის კოლექტორებში შეიძლება მიაღწიოს 110°C.

3. სპეციალური დანიშნულების საავტომობილო ცისტერნებში გადასაზიდი პროდუქტის შეთბობა შეიძლება განხორციელდეს გამონაბოლქვი გაზების საშუალებით, ცისტერნის შიგნით დაყენებული მილოვანი თბომცვლელის მეშვეობით.

4. შემოთავაზებულია და თეორიულად ნაწილობრივ გამოკვლეულია ბლანტი ნავთობის და ნავთობპროდუქტების შეთბობის ახალი მეთოდი მათი სატრანსპორტო ცისტერნებიდან ჩამოსხმის დროს, სადაც შემთბობი სიმძლავრე იქმნება ზემოაღსანიშნული წყაროს მიერ გამოსხივების საფუძველზე. შემოთავაზებული ტექნოლოგიის გამოყენება ამცირებს ჩამოსხმის დროს და ხელს უწყობს ნავთობის ხარისხის შენარჩუნებას.

ძირითადი დასკვნები და რეკომენდაციები

1. დამუშავებული და დასაბუთებულია ბლანტი ნავთობის ტრანსპორტირების ენერგოდამზოგი და ეკოლოგიურად უსაფრთხო ტრანსპორტირების მეთოდი "განაწილებული" შეთბობით, რომელიც გვთავაზობს ბუნებრივი სითბოს გამოყენებას "უკან დაბრუნებით" ნავთობსადენის ტრასაზე შემთბობი პუნქტების განლაგების ხარჯზე, აგრეთვე შექმნილია თბურტომბოიანი შემთბობი პუნქტების მეთოდოლოგიური გაანგარიშების საფუძვლები მათი არათანაბარი განლაგების გამო გამოწვეული დანახარჯების ოპტიმიზაციის პირობიდან გამომდინარე გამოყენებული ბუნებრივი დაბალპოტენციური სითბოს წყაროს სახის გათვალისწინებით.

2. მაგისტრალური მილსადენით ტრანსპორტირებული ბლანტი ნავთობის "განაწილებული" შეთბობის მიზნით ბუნებრივი დაბალპოტენციური სითბოს გამოყენება გვაძლევს ტრანსპორტირების პროცესში ენერგოდანახარჯების შემცირების საშუალებას. პირობითი სათბობის ეკონომია ალტერნატიულ მეთოდთან – სატუმბი სადგურების რეკონსტრუქციასთან შედარებით აჭარბებს 25%, ხოლო კაპიტალური დანახარჯების ამოგების დრო არ გადააჭარბებს ორ წელს.

3. დადგინდა, რომ ბლანტი ნავთობის დინების რეოლოგიური მრუდი შეესაბამება ბალკლი-გერშელის მოდელს. მისი მოძრაობის ლამინარული რეჟიმები შეინიშნება ძვრის სიჩქარეებზე ($0 - 20$) წმ^{-1} (ძვრის ძაბვების მმნიშვნელობები იმყოფებიან $4 - 10$ პასკალის ინტერვალში), ხოლო არანიუტონისეული თვისებები მყდავნიდება როდესაც სითხის ტემპერატურა $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ – ზე დაბალია. მიღებულია დინამიკური სიმძლავრის ტემპერატურაზე დამოკიდებულების ფორმულა.

4. ფურიე – კირხგოფის სითბოგამტარობის განტოლების საფუძველზე დამუშავებულია ბლანტი ნავთობის თბოცვლის პროცესის ფიზიკო მათემატიკური მოდელი, რომელიც ითვალისწინებს სითხის ნაკადის დინამიკური ღერძის გადაწევას მილსადენის გეომეტრიული ღერძიდან. ამ მოდელში ღერძის გადაწევას ითვალისწინებს კოეფიციენტი K , რომელიც არწერილია ფორმულით (2.21).

5. დადგინდა ახალი დამოკიდებულებები ჰიდრავლიკური წინააღმდეგობის კოეფიციენტის გასათვლელად ნავთობის ლამინარულ რეჟიმზე მოძრაობის დროს

ჰიდრავლიკურად გლუვი მილებისათვის არაიზოთერმული დინების პირობებში. ლამინარულ რეჟიმებზე ჰიდრავლიკური წინააღმდეგობის კოეფიციენტის სიდიდე წარმოდგენილია როგორც ილიუშინის რიცხვის და ექსპერიმენტალურად განსაზღვრული N პარამეტრის ფუნქცია, ხოლო ფორმულაში შემავალი ემპირიული კოეფიციენტები წარმოადგენენ ნუსელტის რიცხვის He ფუნქციას. ტურბულენტური რეჟიმებისათვის კოეფიციენტი იანგარიშება ნავთობის ტემპერატურის ცვლილების გათვალისწინებით როგორც მილსადენის სიგრძეზე, ასევე მის განივკვეთზე. ასევე დადგინდა ნუსელტის კრიტერიუმის განსასაზღვრი დამოკიდებულება გლუვი მილების ზონებისათვის.

6. დამუშავდა მიწის, მდინარეების, წყალსატევების, მზის და გეოთერმული წყლების დაბალპოტენციური ბუნებრივი სითბოს გამოყენების მეთოდოლოგია ნავთობსადენის ტრასაზე განლაგებულ შესათბობ პუნქტებში, რაც მოგვცემს ნავთობსადენის გამტარუნარიანობის გაზრდის და ნავთობის ტრანსპორტირებაზე პირველადი ენერგორესურსების მოხმარების შემცირების საშუალებას.

7. შემოთავაზებულია და თეორიულად ნაწილობრივ გამოკვლეულია ბლანტი ნავთობის და ნავთობპროდუქტების შეთბობის ახალი მეთოდი მათი სატრანსპორტო ცისტერნებიდან ჩამოსხმის დროს, სადაც შემთბობი სიმძლავრე იქმნება ზემალაღსიხშირული წყაროს მიერ გამოსხივების საფუძველზე. შემოთავაზებული ტექნოლოგიის გამოყენება ამცირებს ჩამოსხმის დროს და ხელს უწყობს ნავთობის ხარისხის შენარჩუნებას.

გმოყენებული ლიტერატურა

1. А. С. 233724 СССР, МКИ В 61 D; В 61 G. Устройство для подогрева вязких жидкостей в железнодорожных цистернах при сливе / Н. Г. Болдов, С. И. Братцев, А. Н. Левенцов и др. (СССР). № 1146182/27-11; Заяв. 03.04.67; Оpub. 30.03.69. Бюл. № 3.
2. Абрамзон Л.С., Галлямов М.А., Стешнюгин В.И. Экспериментальное исследование пускового режима «горячего» мазутопровода // Транспорт и хранение нефти и нефтепродуктов. - 1968. - №3. - С. 16-19.
3. Абрамзон Л. С. Влияние присадок на реологические свойства нефтей // НТС «Проектирование, строительство и эксплуатация магистральных газонефтепроводов и нефтебаз» - Уфа: «Башкнигоиздат», 1974, Тр. УНИ, выпуск № 15. - 23-29 с.
4. Абрамзон Л. С., Исхаков Р. Г., Тугунов П. И. Рациональная перекачка вязких и застывающих нефтей совместно с разбавителем. - М.: ВНИИОЭНГ, 1977.- 60 с.
5. Абрамзон, Л.С. Оптимальные параметры работы "горячих" трубопроводов / Л.С. Абрамзон // Нефтяное хозяйство, 1979. - №2. -С. 53-54.
6. Абузова Ф. Ф., Репин В. В., Газизов В. Т. и др. Комплексные системы подогрева вязких нефтепродуктов в резервуарах и анализ эксплуатации // Ресурсо- и энергосбережение в республике Башкортостан: проблемы и задачи. Часть 1. / Изд-е Башкирского ун-та -Уфа, 1997-С. 142-146.
7. Абузова,Ф.Ф. Патент №2104911. Устройство для хранения вязких нефтепродуктов / Ф.Ф. Абузова, В.В. Репин, Е.В. Савичев, А.М. Шаммазов, Г.Г. Янборисова. Оpub. в БИ №5, 1998.- 3 с.
8. Абузова,Ф.Ф. Патент №2104912. Устройство для хранения вязких нефтепродуктов / Ф.Ф. Абузова, В.В. Репин, Е.В. Савичев, А.М. Шаммазов, Г.Г. Янборисова. Оpubл. в БИ №5, 1998.- 3 с.
9. Абузова Ф.Ф. Подогрев вязких нефтепродуктов в резервуарах нефтебаз с использованием нетрадиционных источников энергии /Ф.Ф. Абузова, В.В. Репин,

- Е.В. Савичев, А.М. Шаммазов, Г.Г.Янборисова // Материалы Международной конференции "Проблемы нефтегазового комплекса России".- Уфа, 1998
10. Агапкин ВМ. Переходные режимы работы надземных теплоизолированных нефтепроводов при изменении начальной температуры подогрева нефти// Изв. вузов. Нефть и газ. - 1975. - № 8. - С. 75-79.
 11. Агапкин В.М., Кривошей Б.Л., Юфия В.А. Тепловой и гидравлический расчеты трубопроводов для нефти и нефтепродуктов. - М.: Недра, 1981. - 256 с.
 12. Агапкин В.М., Челинцев С.Н. Перекачка высоковязких и застывающих нефтей и нефтепродуктов за рубежом. - М.: изд. ВНИИОЭНГ, 1974. — 88 с.
 13. Алдошкин Г.Т., Жук К.П. Сопряженная задача теплообмена при течении жидкости в канале. М.: «Энергия», 1988. - 134 с.
 14. Алиев 5. В.А., Белоусов В.Д. Трубопроводный транспорт нефти и газа. - М.: Недра, 1988. - 368 с.
 15. Арутюнов С. А. Эксплуатация нефтебаз - М.: Недра, 1983 148 с.
 16. Баженова И. Ю. Delphi6. Самоучитель программиста. М.: «Кудиц-Образ», 2002.- 448 с.
 17. Балышев О.А., Кошелев А.А., Кривошейн Б.Л. Влияние различных факторов на теплообмен подземных трубопроводов с окружающей средой. Изв. вузов, «Нефть и газ», № 6, 1970. — 36- 39 с.
 18. Бартош, Е.Т. Тепловые насосы в энергетике железнодорожного транспорта/Е.Т. Бартош. М.:Транспорт, 1985. - 280с.
 19. Бекетов П. Н. Электрический нагревательный прибор для подогрева жидкости в цистернах - А. С. № 48908, 1936 г.
 20. Белкин ИМ., Виноградов Г.В., Леонов АЖ Ротационные приборы. Измерение вязкости физико-механических характеристик материалов. - М: Машиностроение, 1968. - 272 с.
 21. Белоусов В Д. Приближенные расчеты при переходном режиме работы горячего нефтепровода // Транспорт и хранение нефти и нефтепродуктов. -1974.-№ 12.-С. 19-23.

22. Блоки электронагревателей БЭР // Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья - 1983 .- №3 .- С. 38.
23. Валеев А.Р. Тепловые режимы трубопроводов. Вопрос учета нагрева нефти и газа в трубопроводах// Электронный научный журнал "Нефтегазовое дело", 2009. http://www.ogbus.ru/authors/Valeev/Valeev_1.pdf.
24. Васильев, Г.П. Энергоэффективная сельская школа в Ярославской области / Г.П. Васильев, Н.С. Крундышев. - Электрон, текст, дан. -Журнал "АВОК", 2002, №5. - Режим доступа к журн.:<http://tgv.khstu.ru/lib/artic/abok>, свободный.
25. Васильев Г.П. Энергоэффективные здания с теплонасосными системами снабжения / Г.П. Васильев. - Электрон, текст, дан. – Журнал"АВОК", 2002, №12. - Режим доступа к журн.:<http://tgv.khstu.ru/lib/artic/abok>, свободный.
26. Васильев,Г. П. Использование низкопотенциальной тепловой энергии земли в теплонасосных системах / Г. П. Васильев, Н. В. Шилкин. -Электрон, текст, дан. - Журнал "АВОК", 2003, №2. - Режим доступа к журн.: tgv.khstu.ru/lib/artic/abok, свободный.
27. Гаррис Н.А., Гаррис Ю.О. Расчет эксплуатационных режимов магистральных неизотермических нефтепродуктопроводов с применением динамических характеристик // Электронный научный журнал "Нефтегазовое дело",2003. http://www.ogbus.ru/authors/Garris/Garris_3.pdf.
28. Гаррис НА., Гаррис Ю.О., ГлушковАА. Построение динамической характеристики магистрального трубопровода (модель вязкопластичной жидкости)// Электронный науч. журнал "Нефтегазовое дело", 2004.http://www.ogbusru/authors/Garris/Garns_4.pdf.
29. Гаррис И А., Тутунов ПЖ Режим работы «горячего» трубопроводапри уменьшении температуры нагрева нефти // Нефтяное хозяйство. - 1975. -№11.-С. 42-44.
30. Гаррис Н.А. Нетрадиционный способ подогрева потока высоковязкойнефти / Н.А. Гаррис, А.А. Глушков // Надежность и безопасность магистрального трубопроводного транспорта: Материалы Vмеждународной научно-технической конф.-Новополоцк: УО "ПТУ". -2006. - С. 126.

31. Гаррис, Н.А. Экономический эффект за счет оборудования теплонасосных установок дополнительным нагревателем, компенсирующим пиковые нагрузки / Н.А. Гаррис, А.А. Глушков //Надежность и безопасность магистрального трубопроводного транспорта: Материалы V межд. научно-технической конф.-Новополоцк: УО "ПГУ". - 2006. - С. 129.
32. Гаррис, Н.А. Энергосбережение при трубопроводном транспорте высоковязких нефтей / Н.А. Гаррис, А.А. Глушков // Нефтегазовое дело. - 2007. -т.5. №1. – С.99-103
33. Глушков, А.А. Моделирование магистрального неизотермического трубопровода в осложненных условиях эксплуатации / А.А. Глушков //Записки Горного института. - СПб.: Санкт-Петербургский государственный горный институт (технический университет). - 2006. -Т.167.-4.2,-С. 13-15
34. Глушков, А.А. Низкотемпературная перекачка при помощи тепловых насосов с электрическим нагревателем / А.А. Глушков, Н.А. Гаррис //Трубопроводный транспорт - 2005/ Материалы международной учебно-научно-практической конференции. - Уфа:Дизайн Полиграф Сервис. - 2005. - С. 66.
35. Глушков, А.А. Определение мощности тепловых насосов в расчете на максимальную загрузку магистрального нефтепровода / А.А. Глушков,Н.А. Гаррис // Надежность и безопасность магистрального трубопроводного транспорта: Материалы V международной научно-технической конф -Новополоцк: УО "ПТУ". - 2006. - С. 125-130.
36. Глушков, А.А. Определение функциональной зависимости между температурами нагрева на теплонасосных установках при распределенном подогреве / А.А. Глушков, Н.А. Гаррис //Трубопроводный транспорт - 2006/ Материалы международной Учеб-но-научно-практической конференции. - Уфа: Дизайн Полиграф Сервис. - 2006. - С. 43-44
37. Глушков, А.А. Способ перекачки нефти с низкотемпературным подогревом, ненарушающий естественный радиационно-тепловой баланс / А.А. Глушков, Н.А. Гаррис // Трубопроводный транспорт -2006/ Материалы международной учебно-

- научно-практической конференции. - Уфа: Дизайн Полиграф Сервис, 2006. - С. 41-42
38. Глушков, А.А. Способ, альтернативный "горячей" перекачке / А.А.Глушков, Н.А. Гаррис // VII научно-техническая конференция молодежи ОАО "Северные МН": материалы конференции., г. Ухта, 21-23 нояб. 2006г. / под ред. Чепурного. - Ухта: ГТУ, 2006. - С. 14
39. Глушков, А.А. Техничко-экономическое обоснование возможности применения тепловых насосов при перекачке вязкопластичных жидкостей / А.А. Глушков, Н.А. Гаррис // Материалы 56-й научно-технич. конференции студентов, аспирантов, молодых ученых испециалистов УГНТУ. - Уфа: УГНТУ, 2005. - С.101-102.
40. Гончаров В. П. Слив из железнодорожных цистерн высоковязких нефтепродуктов и других грузов с двухфазной средой // Тематич. обзор. Сер. Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья / ЦНИИТЭНЕФТЕХИМ.- М., 1989.-51 с.
41. Гончаров В. П. Способ удаления застывающих и кристаллизующихся наливных грузов из железнодорожных цистерн // Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья, 1988 №3 .- С. 22-24.
42. Губин В.Е., Губин В.В. Трубопроводный транспорт нефти и нефтепродуктов. - М.: Недра, 1982. - 296 с.
43. Губин В. Е. Слив и налив нефтей и нефтепродуктов,- М.: Недра, 1972.-192 с.
44. Гусейнзаде М.А., Юфин В А. Неустановившееся движение нефти и газов магистральных трубопроводах. - М.: Недра, 1981. - 232 с.
45. ДрейперН., Смит Г. Прикладной регрессионный анализ. - М.: "Финансы статистика", 1986. - 368 с.
46. Дубина М.М., Красовицкий Б.А., Лозовский А.С. Тепловое и механическое взаимодействие инженерных сооружений с мерзлыми грунтами. -Новосибирск: Наука, 1977. - 144 с.
47. Дульнев Г.Н. Коэффициенты переноса в неоднородных средах. - Л.:Изд-во ЛИТМО, 1980. - 63 с.
48. Едигаров А. С. Расчет времени полной разгрузки железнодорожных цистерн при

- внешнем обогреве // Транспорт и хранение нефти и нефтепродуктов .- 1980,№12.- С.13-16.
49. Калнинь И.М. Энергосберегающие теплонасосные технологии / И.М. Калнинь. - Электрон, текст, дан. - Режим доступа к журн.: свободный.
50. Калнинь, И.Н. Эффективность альтернативных хладагентов / И.Н. Калнинь, К.Н. Фадеков // Холодильная техника, 1999. - №4. - С. 10-13.
51. Канторович 41. Л.В., Крылов В.И. Приближенные методы высшего анализа.- Л.: Физматгиз, 1962. - 708 с.
52. Карасик В.М., Асауленко Ю.К., Витошкин Ю.К. Интенсификация гидротранспорта продуктов и отходов обогащения горно-обогатительных комбинатов.- К.: Наукова думка, 1976. — 156 с.
53. Касымов Т.М., Валеев М. Д., Мамонов Ф.А. и др. Особенности эффективной вязкости бинарных смесей мангышлакской нефти с бузачинской.«Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов».Сб. науч . трудов. Уфа: ИПТЭРД, 1996 - 98 - 104 с.
54. Койшкин Г. В. Справочник по проектированию нефтебаз. – Л.: Недра, 1978. 216 с.
55. Комплект электрогрелок К2 ГТЦ-18 // Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья- 1988 .- №5 .- С.
56. Коршак А.А. Специальные методы перекачки. - Уфа: ООО Дизайн Полиграф Сервис", 2001. - 208 с.
57. Коршак А.А., Муфтахов ЕМ. Технологический расчет магистрального нефтепровода: Учебное пособие. - Уфа: ООО "Дизайн Полиграф Сервис", 2005.-98 с.
58. Коршак А.А. Проектирование и эксплуатация газонефтепроводов. Специальные методы перекачки: Конспект лекций. - Уфа: Изд-во УГНТУ,1997.-196 с.
59. Кошелев А.А., МатвийчукД.С, Редько А.Ф. Исследование теплообмена для повышения надежности нефтепровода в вечномерзлых грунтах //Транспорт и хранение нефти и нефтепродуктов, 1974. - № 12. - С. 3-6.

60. Красовицкий Б.А. Применение метода последовательных приближений к задаче о протаивании мерзлого грунта вокруг газовой скважины // Изв. вузов. Сер.нефть и газ, 1971. -№ 6. - С. 37-41.
61. Кривошей Б.Л., Агапкин В.М, Нестационарные тепловые потери подземных трубопроводов // ИФЖ. - 1977. - № 2. - С. 339-346.
62. Кузнецов Ю.Н., Белоусов В.П. Сопряженный нестационарный конвективный теплообмен при турбулентном течении в трубах // Теплообмен. - М.:Наука, 1975-С. 28-37.
63. Кутателадзе С.С., Стырикович М.А. Гидродинамика газожидкостных систем. - М.: Энергия, 1976. - 296 с.
64. Лейбензон Л.С. Гидравлика: руководство для нефтяных вузов, техникумов и работников нефтяной промышленности. - М.-Л.: ГНТ Изд-во, 1934. -223 с.
65. Лурье М.В. Задачник по трубопроводному транспорту нефти, нефтепродуктов и газа: Учеб. Пособие для вузов. - М.: ООО "Недра-Бизнесцентр",2003.-349 с.
66. Лурье М.В. Математическое моделирование процессов трубопроводного транспорта нефти, нефтепродуктов и газа: Учебное пособие. - М.: ФГУПИ зд-во "Нефть и газ" РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, 2003. - 336 с.
67. Лыков А.В. Сопряженные задачи конвективного теплообмена // Проблема Тепломас-сопереноса. - Минск: Наука и техника, 1976. - С. 83-99.
68. Лыков А.В. Тепломассообмен. Справочник. - М.: Энергия, 1978. – 560с.
69. Маметклычев Х., Мурадов А., Ширдоюанов Н. Особенности теплового режима «горячих» трубопроводов при перекачке парафиновых нефтей // Транспорт и хранение нефти и нефтепродуктов, 1969. - № 3. - С. 12-15.
70. Мартынов, А.В. Установки для трансформации тепла и охлаждения: Сборник задач; учебное пособие для вузов / А.В. Мартынов - М.:Энергоатомиздат, 1989. - 200 с.
71. Мартыновский, В.С. Тепловые насосы / В.С. Мартыновский М.Л. Госэнергоиздат, 1955. - 191 с : ил.

72. Мартыновский, В.С. Циклы, схемы и характеристики термотрансформаторов./ В.С. Мартыновский. Под ред. В.М.Бродянского.- М.: Энергия, 1979. - 288с.
73. Мацкин Л. А., Черняк И. Л., Илембитов М. С. Эксплуатация нефтебаз. Изд. 3, перераб. и доп.- М.: Недра, 1975.- 392 с.
74. Межирицкий Л. М. Оператор нефтебазы.- М.: Недра, 1976, 239 с. ,
75. Метдика расчета эксплуатационных режимов теплоизолированных мазутопроводов. - Уфа: УНИ, 1979. - 163 с.
76. Михеев Ю. М., Овчинин Д. И. Передвижные резервуары и тара для хранения и транспортирования нефтепродуктов,- М., 1981 - 66 с.- (Тематич. обзор. Сер. Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья / ВНИИОЭНГ).
77. Михеев М.А. Основы теплопередачи. - М.-Л.: Госэнергоиздат, 1956. -397 с.
78. Михеев М,А., МихееваИ.М. Основы теплопередачи. - М: Энергия,1973.-320 с.
79. Мусин М. Ф., Шалавин Н. Г., Чураков Б. П., Барсуков Г. Я. Переоборудование эстакады слива нефти // Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья, 1982 .№6 .-С. 17-18.
80. Нечваль А.М. Проектирование и эксплуатация газонефтепроводов. -Уфа: ООО "Дизайн Полиграф Сервис", 2001.-168 с.
81. Николаев А.К. Обоснование рациональных параметров и режимов работы систем напорного гидротранспорта горных предприятий в сложных природноклиматических условиях: дис. д-ра тех. наук. - СПб, 2004. - 303 с.
82. Николаев А.К. Исследование тепловых процессов в пульповодах // Тезисы докладов Всесоюзной научно-технической конференции "Гидротранс-порт-8Г*.-М.: 1981.
83. Николаев Н.И., Цыгельнюк Е.Ю. Буровые промывочные жидкости и тампонажные смеси: методические указания к лабораторным работам. - СПб.:СПГГИ, 2000 - 32 с.
84. Огибалов П.М., Мирзадэтанзаде А.Х. Нестационарные движения вязко-пластичных сред. - М,: Изд-во МГУ, 1970. - 254 с.
85. Олдер Б., Фернбах С, Ротенберг Н. Вычислительные методы в гидродинамике. - М.: Мир, 1967. - 384 с.

86. Павлов КФ., Романков П.Г., Носков А.А. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии. - Л.: Химия, 1987. - 576 с.
87. Патанкар СВ. Численное решение задач теплопроводности и конвективного теплообмена при течении в каналах. - М.: Издательство МЭИ, 2003.
88. Петухов Б.С Опытное изучение процессов теплопередачи. - М.-Л.:ГЭИ, 1952.-343 с.
89. Петухов Б.С Теплообмен и сопротивление при ламинарном течении жидкости в трубах. - М.: Энергия, 1967. - 412 с.
90. Печенегов Ю.Я., Денисов В.А. Влияние неизотермичности потока капельной жидкости на гидравлическое сопротивление при ламинарном течении в трубе // Вестник ТГТУ, 2008. - №3. - С. 657-659.
91. Семенов М.Б. исследование режимов работы „горячих” нефтепроводов при изменении условий перекачки. Канд. Диссертация МИНХ и ГП им. Губкина. 1977 – 178 с.
92. Порхаев Г.В. Пособие по теплотехническим расчетам санитарно-технических сетей, прокладываемых в вечномерзлых грунтах. - М.: Стройиз-дат, 1971.-432 с.
93. Протодьяконов М.М., Тедер Р.И. Методика рационального планирования экспериментов. - М.: Недра, 1970. - 76 с.
94. Рауз Х. Механика жидкости. - М.: Стройиздат, 1967. - 300 с.
95. Рей, Д. Тепловые насосы / Д. Рей, Д. Макмайл: Пер. с англ. - М.:Энергоиздат, 1982. - 224 с.:ил.
96. Рей, Д. Экономия энергии в промышленности / Д. Рей.: Справочное пособие для инженерно-технических работников. Пер. с англ. - М.:Энергоатомиздат, 1983. -208 с.
97. Рейнер М. Деформация и течение. Введение в реологию. - М.; Гостоптехиздат, 1963. - 382 с.
98. Рейнер М. Реология. - М.: Наука, 1965. - 224 с.
99. Репин В. В., Газизов В. Т., Сабирьянов Р. М., Янборисова Г. Г. Анализ работы систем подогрева вязких нефтепродуктов на Уфимском предприятии по обеспечению нефтепродуктами // Всероссийская научно-техническая

- конференция «Проблемы нефтегазового комплекса России»: Тез.докл.- Уфа, 1995- С.154.
100. Рогачев М.К., Харин А.Ю., Харина СБ. Реология углеводородов. -Уфа: Изд-во УГНТУ, 2004. - 68 с.
101. РогачевМ.К., Кондрашева Н.К. Реология нефти и нефтепродуктов:Учеб. Пособие. - Уфа: Изд-во УГНТУ, 2000. - 89 с.
102. Романов В.А., Николаев А.К. Оценка теплоотдачи при вынужденной конвекции в трубопроводе с несимметричным профилем скорости // Тезисы докладов Всесоюзной научно-технической конференции "Проблемы горной теплофизики".- Л.: Изд-во ЛГИД ,1981. - С. 123-128.
103. Романов В.А., Николаев А.К. Инженерная оценка температурного режима взвесенесущего потока в трубе // Физические процессы горного производства. Всесоюзн. межвузовский сборник. - Л.: Изд-во ЛГИ, 1981- №9. -С.231-237.
104. Рыбаков К. В., Митягин В. А. Автомобильные цистерны для нефтепродуктов: Устройство и особенности эксплуатации,- М.: Транспорт, 1989.-240 с.
105. Рыбаков К. В., Митягин В. А., Турчанинов В. Е. Перевозки нефтепродуктов специальным автомобильным транспортом // Тематич. обзор. Сер. Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья / ЦНИИТЭНЕФТЕХИМ - М., 1989.- 51 с.
106. Сафонов Ю.К. Реологическая модель концентрированных суспензий //Сб. трудов ВНИИБ. - 1977. - С. 116-119.
107. Силин И.А., Витошкин Ю.К., Карасик В.М. Распределение консинстенции по глубине взвесенесущего потока // Труды координационных совещанийпо гидротехнике. - Л.: Энергия, 1971. - №9.
108. Смолдырев А.Е. Гидравлическое транспортирование высококонцентрированных гидросмесей. - Л.: Наука, 1989. - 187 с.
109. Соннинский А. В. Устройство для попутного подогрева теплоизолированных водоводов // Транспорт и хранение нефти и нефтепродуктов .- 1981.- №7 .- С. 24-27.

110. Спиридонов В.В., Гарагуля Л.С., Семенов Л.П. Методика исследования взаимодействия трубопроводов с окружающей средой на опытных участках трубопроводов. - М.: НИИСТ, 1973. - 214 с.
111. Сыртланов Р.Ш. Расчет и исследования тепла трения в трубопроводном транспорте нефти и нефтепродуктов: дис. к-та техн. наук. - Уфа, 1980. -180 с.
112. Тарг С.М. основные задачи теории ламинарных течений. - М.-Л.: Гос.изд-во техн. теорет. лит., 1951. - 420 с.
113. Токарев Ю.Н. Метод расчета неустановившегося теплообмена трубопровода// Строительство предприятий нефтяной и газовой промышленности: Сер. "Сооружение линейной части трубопроводов". - М.: Информнефтегазстрой.-1983.- №2.-С. 8-9.
114. Трапезников С.Ю. Расчет температурных режимов работы надземных нефтепроводов // Записки Горного института. - СПб.: СПГГИ(ТУ), 2011. -Т. 189.- С. 187-190.
115. Трапезников С.Ю., Пушкин К.А. Исследование теплообмена высоковязкой нефти в надземном трубопроводе // ГИАБ. - М.: МГГУ, 2011. - № 3. - С.176-180.
116. Тугунов П.И. Нестационарные режимы перекачки нефтей и нефтепродуктов.- М.: Недра, 1984. - 224 с.
117. Тугунов П.И. Неустановившиеся режимы работы горячих магистральных трубопрово-дов. - М.: ВНИИОЭНГ, 1971.-245 с.
118. Тугунов Н.И., Гаррис Н.А., Гималешдинов Г.М. Влияние сезонного изменения влажности на работу «горячего» магистрального трубопровода //Транспорт и хранение нефти и нефтепродуктов. - 1981. -№10. - С. 3-5.
119. Тугунов П.И., Новоселов В. Ф. Транспортирование вязких нефтей и нефтепродуктов по трубопроводам. -М.: Недра, 1973. - 88 с.
120. Тугунов УМ., Новоселов В. Ф., Абузова Ф.Ф. Транспорт и хранение нефти и газа. - М.: Недра, 1975. - 248 с.
121. Установка местного подогрева // Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья.- 1983 .- №3 С. 37-38.

122. Устройство с электронагревательными элементами для перевозки битума и аналогичных материалов (референт Н. А. Пинчук) // Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья,- 1984 .- №6 .- С. 20-21.
123. Ушаков С.С, Борисенко Т.М. Экономика транспорта топлива и энергии.-М.: Энергия, 1980. - 191 с.
124. Фонарев З. И., Иванов Г. И., Еремин И. И. Электроподогрев трубопроводов на нефтебазах.- М.: ВНИИОЭНГ.- 1982.- 42 с.
125. Фрязинов В. В., Смирнов Л. П., Грудников И. Б. Зарубежный опыт хранения, затаривания и транспортирования битумов // Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья, 1981 .-№1 -С. 13-15.
126. Хизгилов И. Х. О рациональном использовании электроэнергии на нефтебазах // Транспорт и хранение нефти и нефтепродуктов, 1980. - №7. – С. 26-28.
127. Цветков Л. А. Экономический способ транспортирования нефти с растворенным газом // Сб. «Технический прогресс в нефтяной промышленности». Куйбышев, БТИ, 1961.-18-24 с.
128. Цистерны. (Устройство, эксплуатация, ремонт): Справочное пособие / В. К. Губенко, А. П. Никодимов, Г. К. Жилин и др. - М.: Транспорт, 1990 .- 151 с.
129. Черников В.И, Перекачка вязких и застывающих нефтей. М.: ГОС-ТОПТЕХИЗДАТ, 1958. - 164 с.
130. Шабанов С. И., Гончаров В. П., Литвяк Л. В., Савойский Ю. И. Устройство для разогрева застывающих грузов в цистернах // Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья, 1983 .- №6 .- С. 17-18.
131. Шахназаров И. Х. Улавливание и сепарация газов на нефтяных промыслах Баку. «Азгостопиздат», 1980. - 187 с.
132. Шишкин Г. В. Справочник по проектированию нефтебаз.- Л.: Недра, 1978.-216 с.
133. Шрамм Г. Основы практической реологии и реометрии. - М.: КолосС,2003.-312с.
134. Штукатуров К.Ю. Моделирование режимов работы трубопровода ,перекачивающего высоковязкие нефти // Методы. Алгоритмы. Программы,2004.- №1(5).-С. 54-60.

135. Штукатуров К.Ю. Экономико-математическое моделирование выбора Технологических режимов трубопровода: дис. к-та тех. наук. - Уфа, 2004.-129 с.
136. Штукатуров К.Ю., Шутов А.А., Бахтизш Р.Н. Моделирование режимов работы трубопроводов с применением комплекса программ NIPAL 3.0 (NonIsothermalPipelineforAbnormalLiquids) // Электронный научный журнал "Нефтегазовое дело", 2003. http://www.ogbus.ru/authors/Bahtizin/Bahtizin_1.pdf.
137. Щербаков А. З. Транспорт и хранение высоковязких нефтей и нефтепродуктов с подогревом.- М.: Недра, 1981 - 220 с.
138. Щербаков А.З. Транспорт и хранение высоковязких и высокозастывающих нефтей и нефтепродуктов. М.: «Недра», 1981. - 168 с.
139. Электрогрелка ГТ18Ц // Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья, 1983 - №3 .- С.38.
140. Юкин А.Ф. Управление тепловыми режимами транспорта вязких изастывающих нефтей и нефтепродуктов: дис. д-ра тех. наук. - Уфа, 2004. – 324с.
141. Юфин В. А., Алиев Р.А ,Дзеба О.Г. Выбор оптимальной концентрации разбавителя с учётом изменения плотности смеси. // «Нефтепромысловое дело и транспорт нефти». - М.: ВНИИОЭГ, выпуск №. 10, 1985. - 30-31 с.
142. Яблонский В.С. Краткий курс технической гидромеханики. - М.:Физматиздат, 1961, - 356 с.
143. Янтовский, Е.И. — Промышленные тепловые насосы / Е.И. Янтовский, Л.А. Ленвин. - М.: Энергоатомиздат 1989. - 128 с.
144. Ястребов Л.П, Инженерные коммуникации на вечномерзлых грунтах.- М.: тройиздат, 1972. - 342 с.
145. Clauser, C (1997a) Geothermal energy use in Germany — status and potential. Geothermics, Vol.26(2), pp203-220.
146. Eisenschitz R. Kolloid.-Z., 1933.-№64.-P. 184-192.
147. Godard, O. and Poppe, H. Temperatures in the soil in Belgium and in Luxemourg. Bulletin of the Belgian Society of Astronomy, Meteorology and Earth Sciences, Vol.76, No. 9-10, Sept/Oct. 1963. (In French).

148. Hagasi N., Tnougé K. Transient heat transfer through a thin circular pipe due to unsteady flow in the pipe // J. of heat transfer, 1965. - Vol. 87. - Series C - №4. - P. 101-110.
149. Hanks F.E. More insulated, heated - oil pipelines are prospect // Oil & Gas J., 1966. - Vol. 64. - № 40. - P. 117-122.
- Heat pumps and three important "E:S": Energy, Environment and economy / Granryd E., Jonsson M.E. // Refrig., Clim. Contr. And Energy Conserv./: Proc. Meet. Commis. E2, E1, B2/B1, Melbourne, Febr. 11-14, 1996 / Int. Inst. Refrig. - Paris, 1996. P. 13-22.
150. Johnson J J. Multi-product pipelines for heated fuel oils // J. of the institute of petroleum., 1966. - Vol. 52. - № 516. - P. 360-381.
151. Sanner B. Ground Heat Sources for Heat Pumps (classification, characteristics, advantages), 2002. www.geothermie.de/ueb_seiten/ub_sanner.htm.

დოქტორანტ ალექსანდრე ცეცხლაძის თანაავტორობით გამოქვეყნებული შრომები

1. ცეცხლაძე ა., კოჩაძე თ. ტრანსპორტირების პროცესების როლი და ადგილი **ლოჯისტიკურ სისტემებში**. აკაკი წერეთლის სახელმწიფო უნივერსიტეტის II საერთაშორისო კონფერენციის “მექანიკის არაკლასიკური ამოცანები” . 6-8. 10.2012წ. ქუთაისი. გვ. 397-400.
2. ცეცხლაძე, თ.კოჩაძე **ენერგომატარებლების ტრანსპორტირების პრობლემები კასპიის რეგიონიდან საქართველოს გავლით**. მე-2 საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენციის “ ენერგეტიკა: რეგიონალური პრობლემები და განვითარების პერსპექტივები” მოხსენებების კრებული. 25.05.2013წ. ქუთაისი. გვ.305-310.
3. Tsetskhladze A. Kochadze T. **TECHNIKAL AND ENVIROMENTAL CAPACITIES OF OIL TERMINALS IN GEORGIA**. International virtual journal for science, technics and innovations for the industry “MACHINES TECHNOLOGIES MATERIALS”. YEAR VII, Issue 4/2013. WWW.mech-ing.com/journal. p. 14-16.
4. Tsetskhladze A. Kochadze T. **CERTAIN FEATURES OF THE GARGO PLAN FOR OIL TANKER**. International virtual journal for science, technics and innovations for the industry

- “MACHINES TECHNOLOGIES MATERIALS”. YEAR VI, Issue 6/2012. WWW.mech-ing.com/journal. p.163-166.
5. Tsetskhladze A., Kochadze T., Kamladze A. THE DESIGN PROCEDURE OF RECUPERATIVE HEAT-EXCHANGER FOR HEATING OIL MOVING IN A PIPELINE. International virtual journal for science, technics and innovations for the industry “MACHINES TECHNOLOGIES MATERIALS”. YEAR VIII, Issue 7/2014. p.7-9. WWW.mech-ing.com/journal.
 6. ცეცხლაძე ა., კამლაძე ა., კოჩაძე თ. *milsadenSi moZrავი navTobis SeTbobaze moxmarebuli energetikuli danaxarjebis analizi*. საქართველოს მექანიკოსთა კავშირის IV ყოველწლიური საერთაშორისო კონფერენცია. მოხსენებათა თეზისები. გვ.111-112. ქუთაისი, 8-10 ნოემბერი 2013წ.
 7. ცეცხლაძე ა., კამლაძე ა., კოჩაძე თ. **მზის ენერჯის გამოყენების პერსპექტივა მოლსადენში მოძრავი ნავთობის რეოლოგიური პარამეტრების გაუმჯობესების მიზნით**. საერთაშორისო სამეცნიერო-პრაქტიკული კონფერენციის „მეცნიერება და ინოვაციური ტექნოლოგიები“ შრომების კრებული. 27-28 ნოემბერი, 2014 წ. აკაკი წერეთლის სახელმწიფო უნივერსიტეტი. ქუთაისი. გვ.372-374.
 8. ცეცხლაძე ა., ნოსელიძე ჯ. კოჩაძე თ. **milsadenSi navTobis moZraobis siCqareze temperaturis cvlile-bis gavlenis eqspe-rimentuli kvleva**. საქართველოს მექანიკოსთა კავშირის IV ყოველწლიური საერთაშორისო კონფერენცია. ქუთაისი , 8-10 ნოემბერი 2013წ. მოხსენებათა თეზისები.გვ.111-112.
 9. Kamladze A., Tsetskhladze A., Kochadze T. METHODOLOGY FOR DETERMINING THE VISCOSE OIL RHEOLOGY IN LABORATORY CONDITIONS. International virtual journal for science, technics and innovations for the industry “MACHINES TECHNOLOGIES MATERIALS”. YEAR IX, Issue 9/2015. p.35-36. WWW.mech-ing.com/journal
 10. ცეცხლაძე ა., კოჩაძე თ. სამხრეთ კავკასია - კასპიის რეგიონიდან ევროპაში ენერგომატარებლების ეფექტური ტრანსპორტირების უალტერნატივო მარშრუტი . საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის მეოთხე სამეცნიერო კონფერენციის „მსოფლიო და კავკასია“ თეზისების კრებული . 22-23 მაისი, 2015 წელი. თბილისი.