

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ხელნაწერის უფლებით

ნათია ქსოვრელი

მდულარე სითხის მექანიკური ზემოქმედება ხურების ზედაპირზე

დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად

წარდგენილი დისერტაციის

ავტორეფერატი

სადოქტორო პროგრამა ენერგეტიკა და ელექტროინჟინერია

შიფრი - 0405

თბილისი 2016 წელი

სამუშაო შესრულებულია საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტში
ენერგეტიკისა და ტელეკომუნიკაციის ფაკულტეტის
თბოენერგეტიკისა და ენერგოეფექტურობის დეპარტამენტში

ხელმძღვანელი: პროფესორი ევტიხი მაჭავარიანი

რეცენზენტი -

რეცენზენტი -

დაცვა შედგება 2016 წლის “-----“ -----, ----- საათზე
საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ენერგეტიკისა და
ტელეკომუნიკაციის ფაკულტეტის სადისერტაციო საბჭოს კოლეგიის
სხდომაზე, კორპუსი VIII, აუდიტორია 123 მისამართი: 0175, თბილისი, კოსტავას
77.

დისერტაციის გაცნობა შეიძლება სტუ-ს ბიბლიოთეკაში,
ხოლო ავტორეფერატისა - ფაკულტეტის ვებგვერდზე

სადისერტაციო საბჭოს მდივანი,
პროფესორი

გ. ხელიძე

თემის აქტუალობა. სითხის დუღილის პროცესი და მასთან დაკავშირებული ფიზიკური მოვლენები საუკუნეზე მეტი ხნის განმავლობაში წარმოადგენდა და დღესაც წარმოადგენს მსოფლიოს მრავალი ქვეყნის მეცნიერთა განსაკუთრებული ინტერესის მატარებელ საგანს.

აღნიშნული პრობლემის კვლევის სერიოზული ტრადიცია არსებობს საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ენერგეტიკის და ტელეკომუნიკაციის ფაკულტეტის თბოენერგეტიკის და ენერგოეფექტურობის დეპარტამენტის ენერჯის არატრადიციული და განახლებადი წყაროების მიმართულების სამეცნიერო ლაბორატორიაში. ეს ტრადიცია სათავეს იღებს ჯერ კიდევ გასული საუკუნის ოთხმოციანი წლებიდან, როდესაც მაშინდელ, თეორიული და ზოგადი თბოტექნიკის №11 კათედრაზე და ამ კათედრის ბაზაზე ჩამოყალიბებულ თბოფიზიკის კათედრაზე, ყოველწლიურად მუშავდებოდა სახელშეკრულებო თუ საბიუჯეტო სამეცნიერო თემები, რომლებიც ეძღვნებოდა სითხის დუღილის თანმხლები სხვადასხვა მოვლენების მეცნიერულ კვლევას. ამ კვლევების შედეგებმა თანამედროვე ეტაპზე ფაქტიურად საერთაშორისო აღიარება ჰპოვეს.

მიუხედავად ყოველივე ზემოთქმულისა სითხის დუღილის მექანიზმი ჯერ კიდევ არ არის ბოლომდე შესწავლილი, რასაც ნათლად ადასტურებს ის ფაქტი, რომ სითხის დუღილის შესწავლას ყოველწლიურად ეძღვნება ათასზე მეტი სამეცნიერო პუბლიკაცია, რომლებიც სისტემატურად ქვეყნდება როგორც მსოფლიოს სხვადასხვა ქვეყნის სერიოზულ სამეცნიერო ჟურნალებში, ასევე ამ პრობლემისადმი სისტემატურად მიძღვნილი დიდი საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენციებისა და სიმპოზიუმების შრომათა კრებულებში.

დუღილი, როგორც ფიზიკური პროცესი ფართოდ არის გამოყენებული ტექნიკისა და ტექნოლოგიის მრავალ დარგში. კერძოდ: ქიმიურ და ფარმაცევტულ მრეწველობაში, სამედიცინო და კვების

ტექნოლოგიაში, მეტალურგიაში, ატომურ და თბოენერგეტიკაში და სხვა. აქედან გამომდინარე ცხადია, რომ დუდილის ფიზიკური პროცესის და მისი თანმხლები მოვლენების მიმდინარეობის კანონზომიერებათა სწორი ცოდნა მნიშვნელოვნად აამაღლებს დუდილზე დაფუძნებული ტექნოლოგიური პროცესების საიმედოობას და ხელს შეუწყობს ზემოხსენებული დარგების შემდგომ განვითარებას.

სამუშაოს მიზანი. საყოველთაოდ ცნობილია, რომ სითხის დუდილი ძალზე რთულ ფიზიკურ პროცესს წარმოადგენს. მის ინტენსივობაზე მოქმედებს მრავალი, როგორც გარეგანი, ასევე შინაგანი ფაქტორი. კერძოდ წნევა, ზედაპირის ტემპერატურა, სითხისა და ზედაპირის მასალის თბოფიზიკური თვისებები, ზედაპირის სიმქისე, სითხის ნაკადის სიჩქარე და სხვა. დუდილი ხასიათდება ისეთი მაჩვენებლებით, როგორცაა თბოგაცემის კოეფიციენტი, ხვედრითი თბური ნაკადი, სითხის გადახურების ან გადაცივების ტემპერატურა, ორთქლწარმოქმნის ცენტრთა რიცხვი, ბუშტების მოწყვეტის დიამეტრი, ბუშტების მოწყვეტის სიხშირე და სხვა. სწორედ ამ ფაქტორთა სიმრავლე განაპირობებს სითხის დუდილის მოვლენის სირთულეს და მისი ექსპრიმენტული შესწავლის შემთხვევაში თხოულობს რთული ლაბორატორიული დანადგარების შექმნასა და ძვირად ღირებული და ზუსტი სამეცნიერო აპარატურის გამოყენებას.

წინამდებარე სადისერტაციო თემა ზოგადად მიზნად ისახავს დუდილის პროცესში თხევადი აგრეგატული მდგომარეობიდან აირად მდგომარეობაში გადასული სითხის მოლეკულების სიჩქარის ცვლილებით გამოწვეული მოძრაობის რაოდენობის ცვლილების ფენომენოლოგიურ შესწავლას. ცნობილია, რომ მოძრაობის რაოდენობის ცვლილება აღძრავს რეაქტიულ ძალას, რომელიც მიმართულია სითხის საორთქლებელი ზედაპირის მართობულად ორთქლიდან სითხისაკენ. სადისერტაციო კვლევის კონკრეტულ სამეცნიერო მიზნებს წარმოადგენენ: 1. წყლის დუდილის სხვადასხვა რეჟიმის პირობებში იმ

რეაქტიული ძალის ვიზუალიზაცია, რომელიც მოქმედებს ხურების, ანუ ამორთქლებელ ზედაპირზე და რომელიც აღიძვრება უშუალოდ ხურების ზედაპირთან შეხებაში მყოფი სითხის ფენაში წარმოქმნილ ორთქლის ბუშტებში გადასული მოლეკულების მიერ. 2. ხსენებული რეაქტიული ზემოქმედების სიდიდის დუდილის დროს განხორციელებულ ხვედრით თბურ ნაკადზე დამოკიდებულების დადგენა. 3. ისეთი ექსპერიმენტული დანადგარის შექმნა, რომლის მეშვეობით შესაძლებელი იქნება როგორც დუდილის დროს წარმოქმნილი რეაქტიული ძალის კვლევა, ასევე დუდილის ყველა რეჟიმის შესწავლა დუდილის დასაწყისიდან დუდილის კრიზისამდე.

სამუშაოს მიზანს შეადგენდა აგრეთვე კვლევის პროცესისათვის გამოყენებული ექსპერიმენტული დანადგარის და კვლევის მეთოდის დამუშავება ტექნიკური უმაღლესი სასწავლებლების თბოენერგეტიკული მიმართულებების სასწავლო ლაბორატორიებში გამოსაყენებლად, სტუდენტების მიერ დუდილის რეჟიმების და დუდილის კრიზისის ამოცანების შესრულების შესაძლებლობის უზრუნველყოფის თვალსაზრისით.

კვლევის ობიექტი და მეთოდები. კვლევის ობიექტს, ზოგადად, წარმოადგენს სითხის დუდილის პროცესი ხოლო კონკრეტულად, დიდ მოცულობაში, ატმოსფერული წნევის პირობებში, სპეციალურად დაპროექტებულ და დამზადებულ დენგამტარ ზედაპირიან ფირფიტებზე წყლის დუდილისას, უშუალოდ ხურების ზედაპირთან შეხებაში მყოფი სითხის ფენაში წარმოქმნილ ორთქლის ბუშტებში გადასული მოლეკულების მიერ აღძრული და ხურების ზედაპირზე მართობულად მოქმედი რეაქტიული ძალა.

კვლევის მეთოდად გამოყენებულია ექსპერიმენტული მეთოდი, რისთვისაც სპეციალურად დაპროექტებულია და დამზადებულია ლაბორატორიული ექსპერიმენტული დანადგარი და დამუშავებულია ცდების ჩატარების მეთოდიკა.

ნაშრომის ძირითადი შედეგები და მეცნიერული სიახლე.
ნაშრომის ძირითად შედეგებს მიეკუთვნება დუდილის პროცესში მადულარ ზედაპირზე მოქმედი რეაქტიული ძალის წარმოქმნის კანონზომიერებათა შემდგომი შესწავლის მიზანშეწონილობის დასაბუთება, დუდილის პროცესის შესასწავლი ექსპერიმენტული დანადგარის და შესაბამისი ცდების ჩატარების მეთოდიკის დამუშავება, დუდილის სხვადასხვა რეჟიმის პირობებში წარმოქმნილი რეაქტიული ძალის ხვედრით თბურ ნაკადზე დამოკიდებულების პირდაპირპროპორციულობის დადგენა, შესაბამისი ექსპერიმენტული მონაცემების დაგროვება და ისეთი ექსპერიმენტული დანადგარის შექმნა, რომელიც წარმატებით შეიძლება იყოს გამოყენებული როგორც სამეცნიერო, ისე სასწავლო მიზნებით.

ნაშრომის მეცნიერულ სიახლეს მიეკუთვნება წყლის დიდ მოცულობაში, ატმოსფერული წნევის პირობებში დუდილისას წარმოქმნილი და გამახურებელ ზედაპირზე მართობულად მოქმედი რეაქტიული ძალის ვიზუალიზაციის განხორციელება და ამ ძალის ხვედრით თბურ ნაკადზე დამოკიდებულების დადგენა.

შედეგების გამოყენების სფერო. ნაშრომში მიღებული შედეგები შეიძლება გამოყენებული იქნეს თბოტექნოლოგიურ პროცესებში მონაწილე მოწყობილობებისა და დანადგარების როგორც დამაპროექტებელ, ისე დამამზადებელ და საექსპლუატაციო ორგანიზაციებისა და საწარმოების მიერ. აგრეთვე ტექნიკური უმაღლესი სასწავლებლების თბოენერგეტიკული მიმართულებების სასწავლო პროცესში.

ცნობები დისერტაციის მოცულობისა და სტრუქტურის შესახებ.
ნაშრომი წარმოდგენილია 120 ნაბეჭდ გვერდზე და შედგება შესავალის, ოთხი თავის, 3 ცხრილის, 23 ნახაზის და 6 სურათისაგან და დასკვნისაგან. დანართში წარმოადგენს ვიდეოფილმების შემცველ დისკს.

ციტირებული ლიტერატურის სია შეიცავს ძირითადად უცხოური წყაროების 43 დასახელებას.

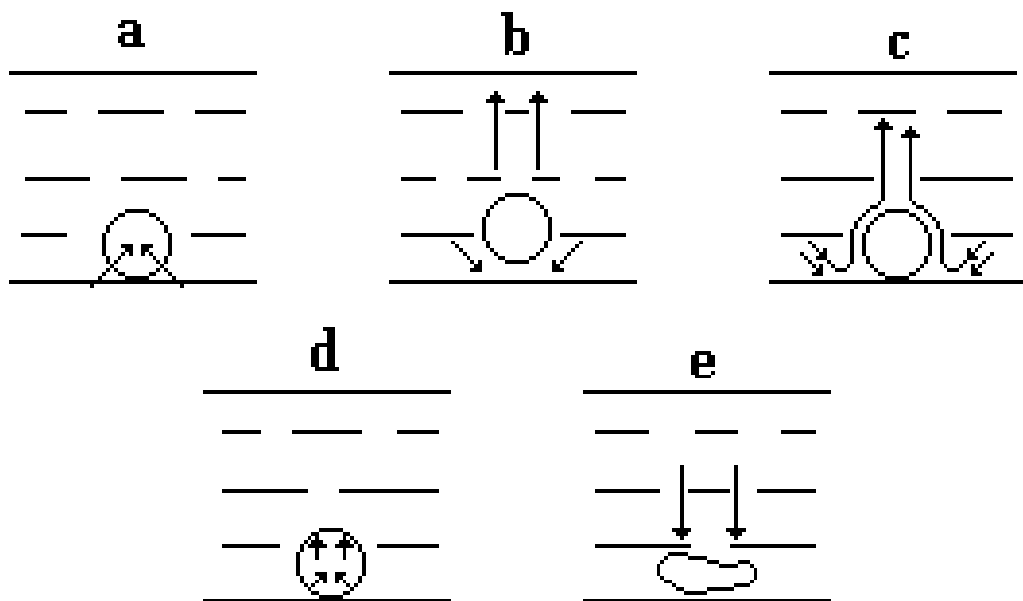
ნაშრომის ძირითადი შედეგები თავების მიხედვით.

ნაშრომის შესავალში და პირველ თავში განხილულია საკვლევი პრობლემის არსი და ისტორია. აღნიშნულია, რომ საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ენერგეტიკის და ტელეკომუნიკაციის ფაკულტეტის თბოენერგეტიკის და ენერგოეფექტურობის დეპარტამენტის ენერჯის არატრადიციული და განახლებადი წყაროების სამეცნიერო ლაბორატორიაში არსებობს დუდილის პროცესების კვლევის სერიოზული ტრადიცია. ეს ტრადიცია სათავეს იღებს ჯერ კიდევ გასული საუკუნის ოთხმოციანი წლებიდან, როდესაც მაშინდელ, თეორიული და ზოგადი თბოტექნიკის №11 კათედრაზე და ამ კათედრის ბაზაზე ჩამოყალიბებულ თბოფიზიკის კათედრაზე, ყოველწლიურად, მუშავდებოდა სახელშეკრულებო თუ საბიუჯეტო სამეცნიერო თემები, რომლებიც ეძღვნებოდა სითხის დუდილის თანმხლები სხვადასხვა მოვლენების მეცნიერულ კვლევას. განსაკუთრებით აღსანიშნავია ხსენებულ კათედრაზე შესრულებული კვლევები, რომელთა შედეგებმაც საერთაშორისო აღიარება ჰპოვეს. დახასიათებულია დუდილის პროცესის სირთულე, ჩამოყალიბებულია საკითხის დასმა და დასაბუთებულია საკვლევი პრობლემის, კერძოდ დუდილის პროცესის თანმხლები მოვლენების შესწავლის დიდი მნიშვნელობა თანამედროვე ტექნიკისა და ტექნოლოგიების მრავალი დარგის შემდგომი განვითარებისათვის. წარმოდგენილია ლიტერატურის მიმოხილვა, რომლის საფუძველზე ნაჩვენებია, რომ სითხეების დუდილის პროცესი ხასიათდება მთელი რიგი თავისებურებებით და მის ინტესივობაზე ზეგავლენას ახდენს მრავალი კონკრეტული ფაქტორი. ყველაფერი ეს განაპირობებს მოვლენის როგორც თერმოდინამიკურ, ასევე ჰიდროდინამიკურ სირთულეს და მისი კვლევის სამეცნიერო აქტუალობას, რაც ნათლად დასტურდება დუდილის პრობლემისადმი მიძღვნილი მეცნიერული კვლევების და ამ კვლევების შედეგების ამსახველი პუბლიკაციების სიმრავლით.

წარმოდგენილია დუდილის კვლევისადმი მიძღვნილი ზოგიერთი თეორიული და ექსპერიმენტული სამუშაოების ანალიზი, ნაჩვენებია პრობლემის შესწავლის თანამედროვე მდგომარეობის სურათი. ჩატარებული მიმოხილვის და ანალიზის საფუძველზე ჩამოყალიბებულია სამუშაოს მიზნები. კერძოდ, ლითონის ბრტყელი ფირფიტებისაგან დამზადებულ გამახურებელ ელემენტებზე წყლის დუდილის ორგანიზება დიდ მოცულობაში ატმოსფერული წნევის პირობებში. ექსპერიმენტული დანადგარის დაპროექტება და აწყობა, ცდების ჩატარების მეთოდიკის დამუშავება, ბრტყელ და გლუვ ზედაპირებზე დუდილისას განვითარებული მექანიკური ზემოქმედების გეომეტრიული მოდელირება ექსპერიმენტული სერიების უკეთ დაგეგმვის მიზნით, წყლის დუდილის სხვადასხვა რეჟიმის პირობებში იმ რეაქტიული ძალის ვიზუალიზაცია, რომელიც მოქმედებს ხურების, ანუ ამართქლებელ ზედაპირზე და რომელიც აღიძვრება უშუალოდ ხურების ზედაპირთან შეხებაში მყოფი სითხის ფენაში წარმოქმნილ ორთქლის ბუშტებში გადასული მოლეკულების მიერ და შესაძლებლობის შემთხვევაში ამ ძალის სიდიდის გაზომვა, ხსენებული რეაქტიული ზემოქმედების სიდიდის დუდილის დროს განხორციელებულ ხვედრით თბურ ნაკადზე დამოკიდებულების დადგენა და ისეთი ექსპერიმენტული დანადგარის შექმნა, რომლის მეშვეობით შესაძლებელი იქნება როგორც დუდილის დროს წარმოქმნილი რეაქტიული ძალის კვლევა, ასევე დუდილის ყველა რეჟიმის შესწავლა დუდილის დასაწყისიდან დუდილის კრიზისამდე.

სამუშაოს მიზანს შეადგენდა აგრეთვე კვლევის პროცესისათვის გამოყენებული ექსპერიმენტული დანადგარის და კვლევის მეთოდიკის დამუშავება ტექნიკური უმაღლესი სასწავლებლების თბოენერგეტიკული მიმართულებების სასწავლო ლაბორატორიებში გამოსაყენებლად, სტუდენტების მიერ დუდილის რეჟიმების და დუდილის კრიზისის ამოცანების შესრულების შესაძლებლობის უზრუნველყოფის თვალსაზრისით.

მეორე თავში მოყვანილია გამოსაკვლევი პრობლემის, კერძოდ დუდილის პროცესში აღძრული და სითხის მხრიდან მადულარ ზედაპირზე მოქმედი რეაქტიული ძალის წარმოქმნის ფიზიკური და გეომეტრიული მოდელები, რომლებიც დამუშავებული იქნა ჩატარებული ლიტერატურული მიმოხილვის ანალიზის საფუძველზე. კერძოდ ამ მიმოხილვიდან ჩანს, სხვადასხვა ავტორები ასახელებენ ორთქლის ბუშტის ზრდისა და მოწყვეტის სხვადასხვა მექანიზმებს (იხ. ნახ. 1), რაც ჩვენი აზრით გამოწვეულია კონკრეტულ ექსპერიმენტულ დანადგარში განხორციელებული სხვადასხვა კონკრეტული პირობები, რომლებიც, საბოლოო ჯამში, განაპირობებენ განსხვავებულ ექსპერიმენტულ შედეგებს.

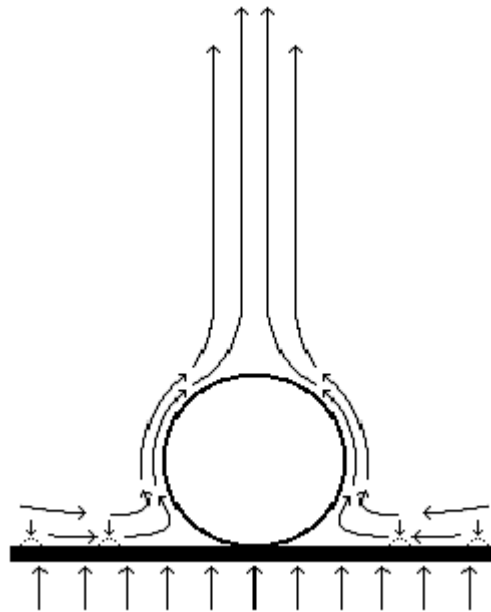


ნახ. 1. ორთქლის ბუშტების წარმოქმნის და მოწყვეტის სხვადასხვა ვარიანტები

უკანასკნელ ხანს ყველაზე გავრცელებულია მოსაზრება იმის თაობაზე, რომ დუდილის განმავლობაში ორთქლწარმოქმნის პროცესის დიდი ნაწილი მოდის მზარდი ბუშტის მადულებელ ზედაპირთან შეხების

ზედაპირის გარშემო არსებული სითხის სოლისებურ უბანზე (იხ. ნახ. 1) და ხსენებული ურთიერთშეხების ცენტრალური უბნის, ანუ მშრალი ზედაპირის ფართობის ზრდასთან ერთად იზრდება ბუმტისქვეშა წრიულად განლაგებული სითხის სოლის წრიული ზომა, რასაც თან სდევს სოლის წვერზე აორთქლებული სითხის რაოდენობის ზრდა.

ამასთან აღსანიშნავია, რომ ამ ბოლო დროს დუდილის მექანიზმის შესწავლაში სერიოზულად მოიკიდა ფეხი ეგრეთწოდებულმა „ტუმბოს ეფექტმა“, ჯერ კიდევ გასული საუკუნის 60-იან წლებში იყო დამუშავებული და შემდეგ მრავალმხრივ შესწავლილი.



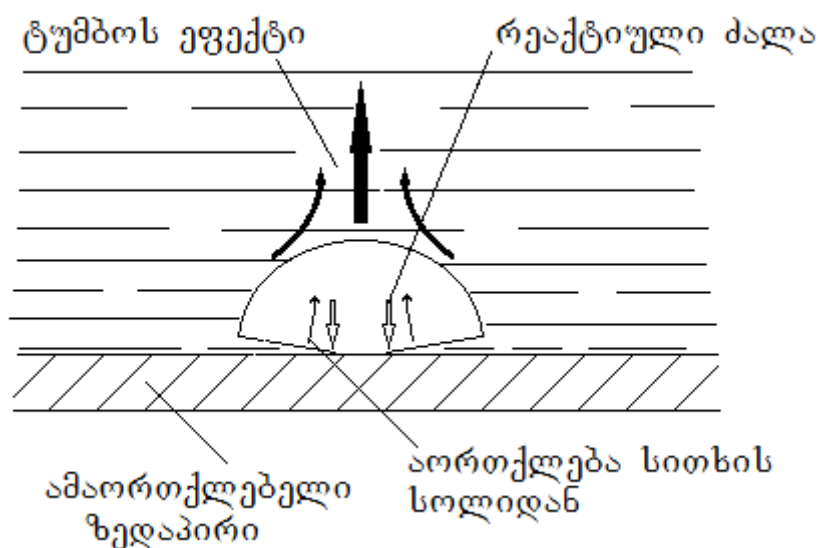
ნახ. 2. ბუმტის ზრდის ტუმბოს ეფექტის სქემა

ბუმტის ზრდისას წარმოქმნილი ტუმბოს ეფექტის სქემა წარმოდგენილია ნახაზზე 2. ამ სქემიდან ჩანს, რომ ბუმტის ზრდისას წარმოქმნილი, ეგრეთწოდებული „ტუმბოს ეფექტი“, გამოიხატება მზარდი ბუმტის მიერ სითხის გასროლით მაღლარი ზედაპირის მხრიდან სითხის სიღრმეში. ეს ეფექტი დაფიქსირებულია აგრეთვე იმ შემთხვევაშიც, როცა მაღლარი ზედაპირი ქვემოთაა მიმართული და მიუხედავად

ტემპერატურული სტრატეფიკაციისა, მზარდი ბუშტი გაცხელებულ სითხეს ისვრის ქვემოთ.

ცხადია, რომ მზარდი ბუშტის მიერ სითხის მადულარი ზედაპირიდან შორს გასროლას თან უნდა სდევდეს ბუშტის მხრიდან გარკვეული რეაქტიული ზემოქმედება თვით მადულარ ზედაპირზე.

ხსენებული პრობლემების ანალიზისას გადაწყვეტილი იქნა მზარდი ბუშტის ტუმბოს ეფექტის კონცეფცია გაერთიანებულიყო მასთან კარგ თანხვედრაში მყოფ, ბუშტისქვეშა სითხის სოლისებური არედან აორთქლების კონცეფციასთან და ამ გაერთიანების საფუძველზე დავამუშავეთ შესასწავლი მოვლენის, კერძოდ რეაქტიული ძალის წარმოქმნის გეომეტრიული მოდელი (ნახ. 3).

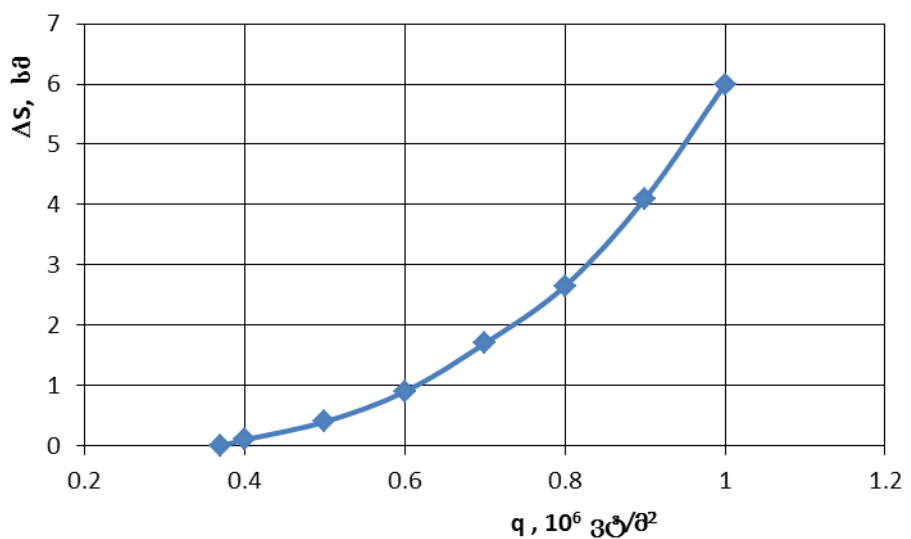


ნახ. 3. რეაქტიული ძალის წარმოქმნის გეომეტრიული მოდელი

როგორც ეს ნახ. 3-ზე ჩანს, სითხის დუდილის პროცესში ზრდადი ბუშტის ცენტრალური ნაწილის გარშემო იმყოფება სითხის ერთგვარი წრიული სოლი, რომელშიც არსებული სითხე არის დუდილის ტემპერატურასთან შედარებით ოდნავ გადახურებული ვინაიდან იმყოფება გამახურებელ კედელთან, ანუ მადულარი ელემენტის ზედაპირთან

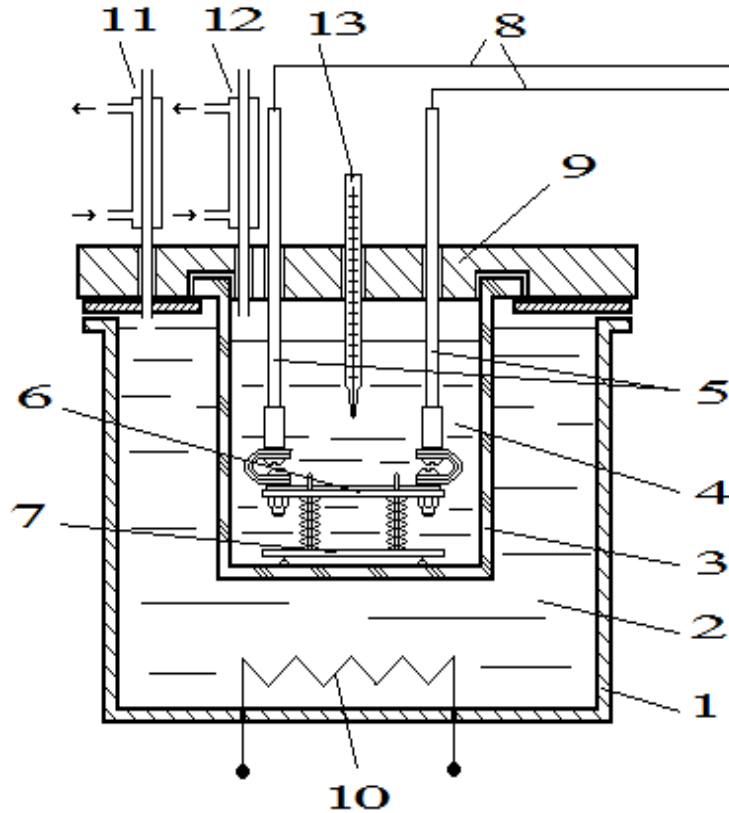
უმუალო შეხებაში. ზრდადი ბუმტის ცენტრალური ნაწილთან ახლოს მდებარე ხსენებული სოლის წვეროსთან მყოფ ყველაზე თხელ და წრიულ არეში არსებული სითხის მოლეკულები იძენენ საკმარის ენერგიას იმისათვის რომ თხევადი ფაზიდან გადავიდნენ ორთქლის ფაზაში, რასაც თან სდევს თვითოეული მათგანის მოძრაობის რაოდენობის ცვლილება, რაც თავის მხრივ წარმოქმნის გამახურებელ ელემენტზე ვერტიკალურად ზემოდან ქვევით მოქმედ რეაქტიულ ძალას. დასმუშავებული გეომეტრიული მოდელის საფუძველზე შერჩეული იქნა კვლევის მეთოდი, კერძოდ ბრტყელ ფირფიტებზე დუდილის განხორციელებისა და წარმოქმნილი რეაქტიული ძალის დაფიქსირების ექსპერიმენტული მეთოდი.

ამავე მეორე თავში, აღწერილია დუდილის დროს წარმოქმნილი რეაქტიული ძალის სადემონსტრაციო ცდები და პირველი ექსპერიმენტული დანადგარი, რომლის მეშვეობითაც მიღებული შედეგები წარმოდგენილია ნახ. 4-ზე, რომელზეც ჩანს, რომ რაც მეტია ხვედრითი თბური ნაკადი, მით მეტია წარმოქმნილი რეაქტიული ძალა და მადულარი ელემენტის მის მიერ გამოწვეული გადახრა.



ნახ. 4. ფირფიტის სიმბიმის ცენტრის გადახრის სიდიდის დამოკიდებულება დუდილის პროცესში განვითარებულ ხვედრით თბურ ნაკადზე

მესამე თავი ეძღვნება პრობლემის გადასაჭრელად სპეციალურად დაპროექტებული ექსპერიმენტული დანადგარის პრინციპული სქემისა და მისი კომპონენტების აღწერას, ექსპერიმენტული დანადგარის პრინციპული სქემა წარმოდგენილია ნახ. 3-ზე, ხოლო ელექტრული სქემა ნახ. 4-ზე.



ნახ. 5. ექსპერიმენტული დანადგარის პრინციპული სქემა.

დანადგარი ძირითადად წარმოადგენს გარედან თბოიზოლირებულ ლითონის კედლებიან ჭურჭელს 1, რომელშიც ჩასხმულია წყალსადენის ჩვეულებრივი წყალი 2. ამ წყალში ჩაშვებულია მინის ჭურჭელი 3 დისტილირებული წყლით 4. მინის ჭურჭელში ჩაშვებულია ორი ელექტროდი (სპეციალური კონსტრუქციის ალუმინისაგან დამზადებული დენმიმცვანი) 5, რომელთა დისტილირებულ წყალში ჩაშვებულ ბოლოებზე მაგრდება სადუღებელი კვანძი 6 მისი, სითხეში დასაფიქსირებელი მექანიზმით 7. ელექტროდების ზედა, ჰაერში არსებულ ბოლოებზე

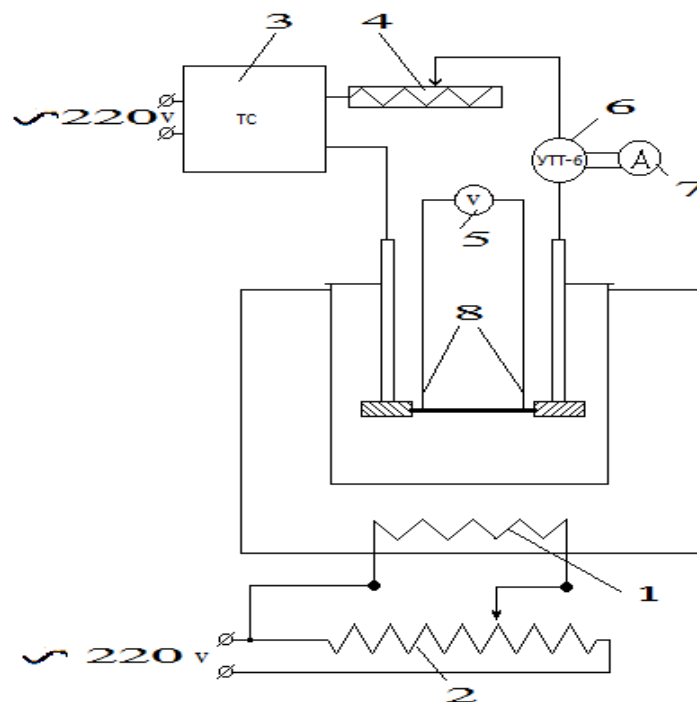
მიერთებულია ჩვეულებრივი სადენები 8. ხსენებული ელექტროდები გაყრილია გეტინაქსის სქელ ფირფიტაში 9, რომელიც კონსტრუქციულად ამაგრებს მათ უძრავ მდგომარეობაში და რომელიც, ერთდროულად წარმოადგენს როგორც ლითონის კედლებიანი მოცულობის 1, ასევე მინის ჭურჭლის 3 სახურავს. ლითონის თბოიზოლირებული ჭურჭლის 1 ფსკერზე ჩამონტაჟებულია ფონის გამახურებელი 10, რომლის საშუალებითაც ხდება ლითონის ჭურჭელში ჩასხმული წყლის ხანგრძლივი დუღილი და, ამდენად, ხდება მინის ჭურჭლის, მასში არსებული დისტილირებული წყლის, სადუღებელი კვანძის და მისი სითხეში დამაფიქსირებელი მექანიზმის თერმოსტაბილიზაცია ანუ ამ ყველაფრის ტემპერატურის მუდმივად 100 °C-ის მახლობლობაში შენარჩუნება.

ვინაიდან ორივე ჭურჭელში მყოფი წყალი ნაჯერობის ტემპერატურამდეა გაცხელებული, მისი ზედაპირებიდან ხდება წყლის ინტენსიური აორთქლება. წყლის დონის მუდმივობის შენარჩუნება ხდება ჭურჭლების სახურავებში ჩამონტაჟებული ორთქლის კონდენსატორების 11 და 12 საშუალებით აკონდენსატორების გარე არხებში ცირკულირებს გამაცივებელი წყალი, რომელიც განაპირობებს ჭურჭლებიდან გამომავალი ორთქლის კონდენსაციას, ხოლო შიგა არხებში დაკონდენსირებული ორთქლი სითხის სახით ბრუნდება შესაბამის ჭურჭლებში სიმძიმის ძალის მეშვეობით. ამგვარად წყლის დონეები ორივე ჭურჭელში მუდმივად იყვნენ შენარჩუნებული მთელი ცდის განმავლობაში. ამასთან, დონეები ისე იყო შერჩეული, რომ გარე ჭურჭელში სითხის დონე 5-10 სმ-ით მეტი იყო ვიდრე შიგა, გამზომ ჭურჭელში, რაც უზრუნველყოფდა შიგა ჭურჭლის მისაღებ იზოთერმულობას.

ლითონის კედლებიანი და თბოიზოლირებული გარე ჭურჭელი უზრუნველყოფილია სამი, სხვადასხვა კუთხით განლაგებული ფანჯრით, რომლებიც ნახაზზე ნაჩვენებია არ არიან და რომელთა მეშვეობითაც ხდება სადუღებელ კვანძზე მიმდინარე პროცესის როგორც სასურველი განათებულობის მიღწევა, ასევე ვიდუო და ფოტოგადაღება.

მინის ცილინდრული ჭურჭლის ცენტრალურ ნაწილში ჩაშვებულია ვერცხლისწყლიანი თერმომეტრი 13, მდულარე გამოხდილი წყლის ტემპერატურის გასაზომად უშუალოდ გამახურებელი ზედაპირის სიახლოვეში.

გამოსაკვლევი დუდილის პროცესი ხორციელდება ჭურჭელში 3, რომელშიც მოთავსებულია დუდილის ექსპერიმენტული უბანი, ხოლო ამ ჭურჭლის გარშემო მოთავსებული ჩვეულებრივი წყალი ცხელდება ნაჯერობის ტემპერატურამდე ფონის გამახურებლით 10. როგორც ზემოთ იყო აღნიშნული, ექსპერიმენტული უბნის გარშემო ნაჯერობის ტემპერატურამდე გაცხელებული წყლის პერანგის არსებობა უზრუნველყოფს ექსპერიმენტული უბნის ტემპერატურულ სტაბილურობას (იზოთერმულობას).



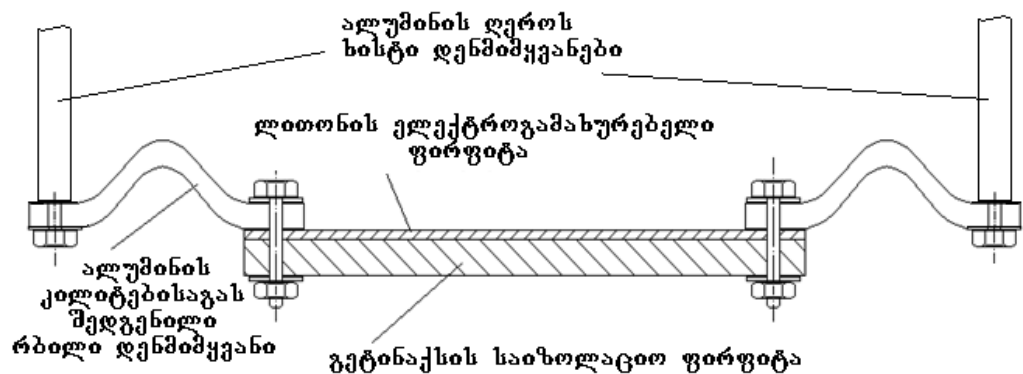
ნახ. 6. ექსპერიმენტული დანადგარის პრინციპული ელექტრული სქემა.

ფონის გამახურებელი 1 იკვებება ლაბორატორიული ავტოტრანს-ფორმატორით 2, რომლის საშუალებითაც ძაბვა რეგულირდება იმგვარად, რომ მიღწეული და შენარჩუნებული იყოს ჩვეულებრივი წყლის დუდილი გარე, ლითონის კედლებიან ჭურჭელში. ეს, როგორც ზემოთ იყო ნახსენები,

უზრუნველყოფს საცდელი ექსპერიმენტული უბნის შემადგენელი ელემენტების კარგ თერმოსტაბილიზაციას.

გამოსაკვლევი ნიმუშის ელექტრული კვება ხორციელდებოდა TC ტიპის ელექტროტრანსფორმატორის 3 საშუალებით, რომელსაც გააჩნია გამომავალიძაბვის რეგულატორი 4. ამ უკანასკნელის საშუალებით მიიღწეოდა ელექტროგაბურების სასურველი სიმძლავრე, ანუ გამოსაკვლევ ნიმუშში განვითარებული ხვედრითი თბური ნაკადის სასურველი სიდიდე. ამ სიდიდის ზუსტად დასადგენად წრედში გამავალი დენის ძალის გაზომვასთან ერთად უნდა გაიზომოსა ძაბვის ვარდნა უშუალოდ გამახურებელი ელემენტის გარკვეულ უბანზე. ამ მიზნით გამახურებელ ელემენტზე წინასწარ მოხდება პოტენციალების გამომყვანი გამტარების 5 მიერთება. გამახურებელ ელემენტში გამავალი დენის ძალის გასაზომად გამოყენებულია YTT-6-ის ტიპის დენის ტრანსფორმატორი 6, რომლის მეორად გრაგნილში მიერთებული აქვს ამპერმეტრი 7. გამახურებელ ელემენტზე ძაბვის ვარდნის გასაზომად გამოყენებულია ვოლტმეტრი 8.

ექსპერიმენტული დანადგარის ძირითად კვანძს წარმოადგენს სადულბელები კვანძი (ნახ. 7).



ნახ. 7. სადულბელები კვანძის სქემა

ლითონის გამახურებელი ელემენტის ზედაპირზე წარმოქმნილი რეაქტიული ძალის დადგენა შესაძლებელია მხოლოდ იმ შემთხვევაში, თუ

გამახურებელი ფირფიტის ერთერთი ზედაპირი იმგვარად იქნება იზოლირებული, რომ მას მადულარი სითხე არ შეეხება და არც ამ მხრიდან გამოყენებული საიზოლაციო მასალის ზედაპირზე სითხის დუღილს ადგილი არ ექნება. მაშინ სითხის დუღილი განხორციელდება გამოსაცდელი ლითონის მხოლოდ ცალ ზედაპირზე და წარმოქმნილი რეაქტიული ძალა სადუღებელ კვანძზე (ნახ. 7) მოახდენს მხოლოდ ცალმხრივ მექანიკურ ზემოქმედებას, რის შემდეგაც რჩება ამ ზემოქმედების ვიზუალიზაციის და მოქმედი რეაქტიული ძალის გაზომვის ამოცანა. ამ ამოცანის გადაწყვეტის მეთოდისა ქვემოთაა აღწერილი.

სადუღებელი კვანძი შედგება 0,1 მმ სისქის, 50 მმ სიგანის და 180 - 200 მმ სიგრძის ლითონის, კერძოდ სპილენძის ელექტროგამტარი ფირფიტისაგან, რომელიც დაწებებულია და მექანიკურადაც მტკიცეა და დამაგრებული გეტინაქსის სქელ და ოდნავ ფართო ფირფიტაზე რათა დუღილი განხორციელდეს ელექტროგამტარი სადულარი ფირფიტის მხოლოდ ცალ ზედაპირზე. გეტინაქსის ფირფიტა ერთდროულად ასრულებს ორ მოვალეობას. კერძოდ, ელექტროგამტარი სადულარი ფირფიტის ქვედა ზედაპირთან არ უშვებს წყალს და წარმოადგენს თბოიზოლატორს, რომელიც ამცირებს ელექტროგამტარი სადულარი ფირფიტის ქვედა ზედაპირიდან წყალში გადაცემული სითბოს რაოდენობას. ეს საშუალებას გვაძლევს ჩავთვალოთ, რომ ელექტროგამტარ სადულარ ფირფიტაში გამოყოფილი სითბო მთლიანად იხარჯება ამ უკანასკნელის ზედა ზედაპირზე შეხებაში მყოფი წყლის დუღილზე და კონკრეტულ შემთხვევაში წარმოქმნილი რეაქტიული ძალა უშუალოდ ამ შემთხვევაში განვითარებულ ხვედრით თბურ ნაკადთან დავაკავშიროთ.

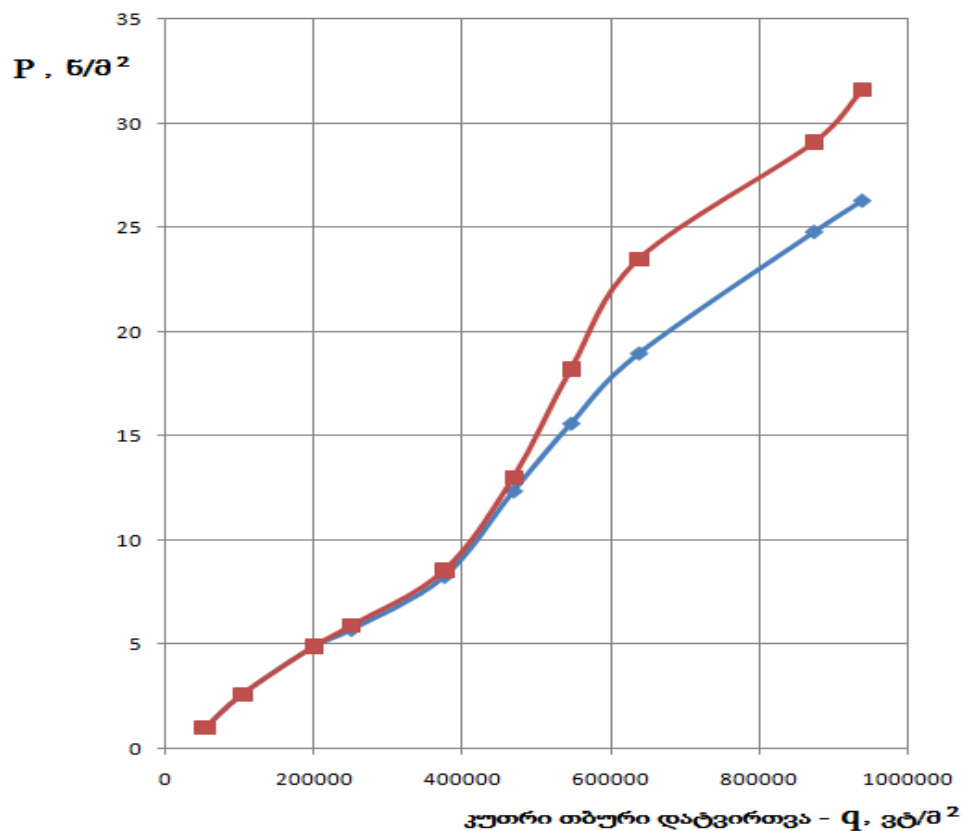
ფირფიტის თავსა და ბოლოში სპეციალური ჭანჭიკებით მოჭერილია ალუმინის არახისტი (მოძრავი) დენმიმყვანები, რომლებიც წარმოადგენენ ალუმინის კილიტების (სისქით 0,13 მმ, სიგანით 50 მმ და სიგრძით 250 მმ) ანაკრებს. კერძოდ მარცხენა და მარჯვენა დენმიმყვანები თვითოეული 150-150 ცალი კილიტისაგან არის შედგენილი. კილიტების ანაკრებისაგან

შემდგარ ორივე დენმიმცვანს მინიჭებული აქვთ ნახევარტალის ფორმა და მათ ბოლოებს ერთმანეთის მიმართ გარკვეულ დიაპაზონში თავისუფალი გადაადგილება შეუძლიათ. თითოეული არახისტი დანმიმცვანი ერთი ბოლოთი დამაგრებულია სადუღებელ ელემენტზე ხოლო მეორე ბოლოთი კონსტრუქციულად ხისტად დამაგრებულ, ალუმინის მასიური დეროსაგან დამზადებულ დენმიმცვანზე. ამგვარად დამაგრებულ სადუღარ კვანძს აქვს სივრცეში ყველა მიმართულებით თავისუფალი (გარკვეულ საზღვრებში) გადაადგილების საშუალება.

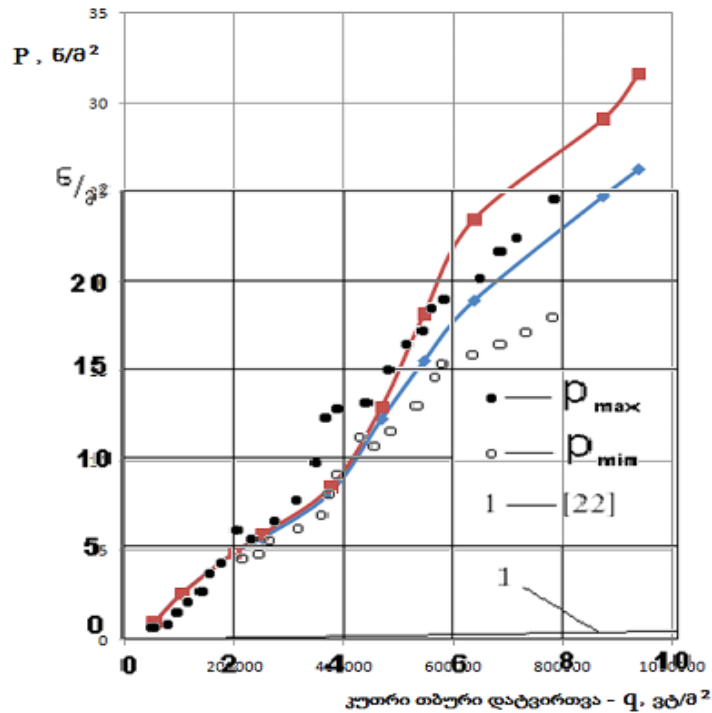
შემდეგ მესამე თავში გადმოცემულია ცდების ჩატარების მეთოდოლოგია, რომელიც შეიცავს ექსპერიმენტული დანადგარის მომზადებას ცდებისათვის, ექსპერიმენტების ყოველი სერიისათვის გადაადგილების მაფიქსირებელი მოწყობილობის გრადუირების წესს, უშუალოდ გაზომვების ჩატარების მიმდინარეობას, პირველადი მონაცემების შეგროვებისა და მიღებული ანათვლების დამუშავების თანამიმდევრობას.

მესამე თავის დასასრულს წარმოდგენილია ჩატარებული გაზომვების შესაძლო ცდომილებათა ანალიზი და რაოდენობრივი შეფასება. ნაჩვენებია, რომ გამოყენებული ხელსაწყოების სიზუსტის კლასების გათვალისწინებით წარმოდგენილ ექსპერიმენტულ დანადგარში წყლის დუღილის პროცესში განვითარებული ხვედრითი თბური ნაკადის გაზომვის საშუალო კვადრატული ცდომილება 4,1 %-ს შეადგენს, ხოლო ზღვრული ცდომილება 8,2 %-ს არ აღემატება. რაც შეეხება სადუღებელი კვანძის ქვემოთ გადაადგილების სიდიდის გაზომვისა და რეაქტიული ძალის რიცხვითი მნიშვნელობის დადგენის ცდომილებას, ის დამოკიდებული იქნება წარმოქმნილი რეაქტიული ძალის დროში ცვლილების ხასიათზე. უნდა აღინიშნოს, რომ პირველ ექსპერიმენტულ დანადგარზე ჩატარებული კვლევის შედეგები მკაფიოდ გვიჩვენებენ წარმოქმნილი რეაქტიული ძალის დროში მკვეთრ ცვალებადობას მის მაქსიმალურ და მინიმალურ მნიშვნელობებს შორის. ამიტომაც ამ ძალის გაზომვისას დაშვებული შესაძლო ცდომილებები წინასწარ გაანგარიშებას არ ექვემდებარება.

მეოთხე თავში წარმოდგენილია სითხის დიდ მოცულობაში დუღილის და მისი თანმხლები ფიზიკური მოვლენების შესასწავლი, მესამე თავში აღწერილი ექსპერიმენტული დანადგარისა და ცდების ჩატარების მეთოდის გამოყენებით შესრულებული ექსპერიმენტული კვლევისა და სწრაფი ვიდეოგადაღების თანხლებით შესრულებული სპეციალური სერიის ექსპერიმენტების შედეგები. ნაჩვენებია, რომ მიღებული შედეგები ფაქტიურად ემთხვევა პირველ ექსპერიმენტულ დანადგარზე მიღებულ შედეგებს და არსებული მცირეოდენი განსხვავება განპირობებულია სხვადასხვა დანადგარებზე გამოყენებული სადუღებელი ელემენტების გეომეტრიული ზომების განსხვავებით. ეს შედეგები და სხვადასხვა ექსპერიმენტულ დანადგარზე მიღებული შედეგების ურთიერთმედარება წარმოდგენილია ნახაზებზე 8 და 9.



ნახ. 8. რეაქტიული ძალის დამოკიდებულება დუღილის პროცესში განხორციელებული კუთრი თბური დატვირთვის სიდიდეზე

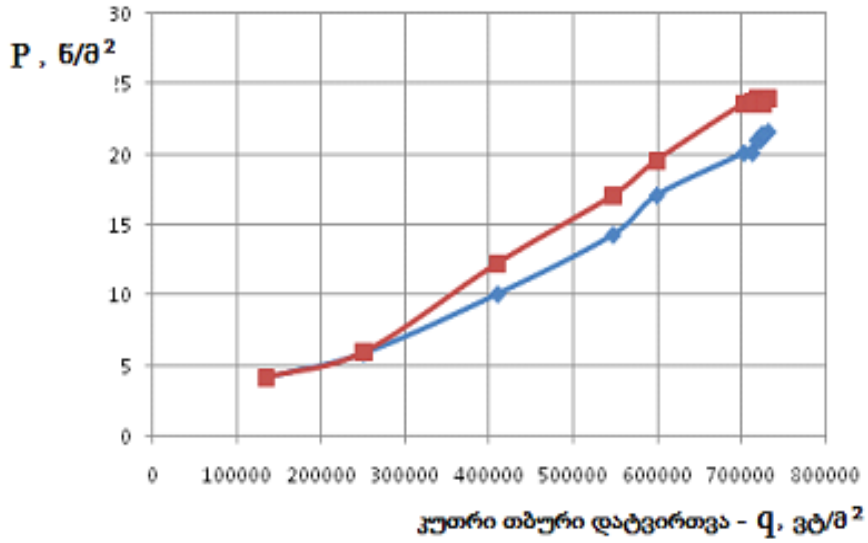


ნახ. 9. სხვადასხვა ექსპერიმენტულ დანადგარებზე მიღებული შედეგების ურთიერთშედარება გეომეტრიული ზედდების წესით

სწრაფი ვიდეოგადაღების თანხლებით შესრულებული ექსპერიმენტების სპეციალური სერიის შედეგები წარმოდგენილია ცხრილში 1 და ნახ. 10-ზე საიდანაც ჩანს, რომ რეაქტიული ძალის დამოკიდებულება ხვედრითი თბური ნაკადის სიდიდეზე იგივე ხასიათისაა.

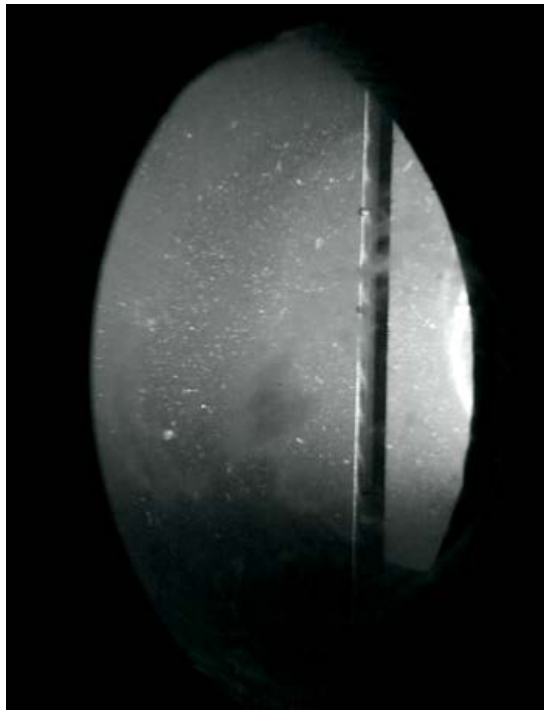
ცხრილი 1.

№	I, დენისა	U, ძაბვა ვტ	R, წინაღობა ომი	Q, სიმძლავრე ვატი	q, კუთრი სიმძლავრე ვტ/მ²	შენიშვნა
1.	58.2	15.5	0.2663	902.1	136681.81	ამ სერიის ცდებში გამოყენებული გამახურებელი ელემენტის თბოგამოყოფი ზედაპირის ფართობი შეადგენდა F=0.0066მ²
2.	79.2	21	0.2651	1663.2	252000	
3.	100.8	26.9	0.2669	2711.52	410836.36	
4.	113	32	0.2831	3616	547878.78	
5.	121.5	32.6	0.2683	3960.9	600136.36	
6.	130	35.7	0.2746	4641	703181.81	
7.	130	36.7	0.2823	4771	722878.78	
8.	131	36.2	0.2763	4742.2	718515.15	
9.	131	36.5	0.2786	4781.5	724469.69	
10.	131.1	35.9	0.2738	4706.49	713104.54	
11.	133.5	36.2	0.2712	4832.7	732227.27	
12.	133.6	35.9	0.2687	4796.24	726703.03	

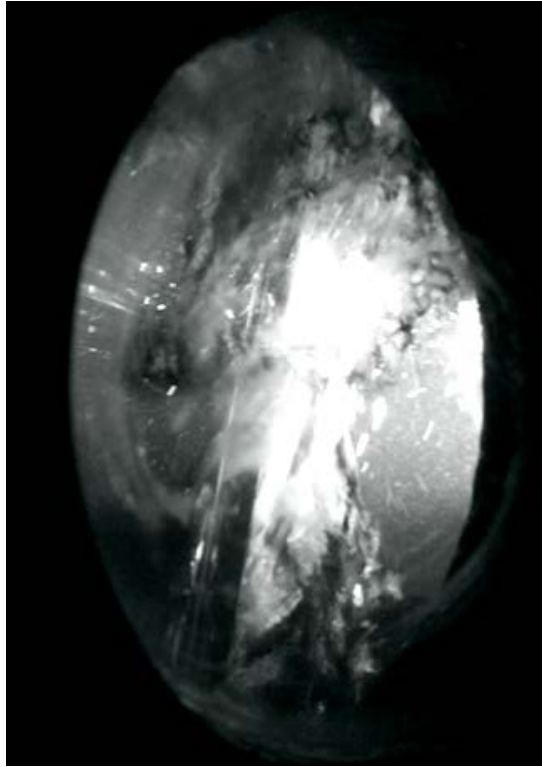


ნახ. 10. რეაქტიული ძალის დამოკიდებულება ხვედრითი თბური ნაკადის სიდიდეზე სპეციალური სერიის ექსპერიმენტებში

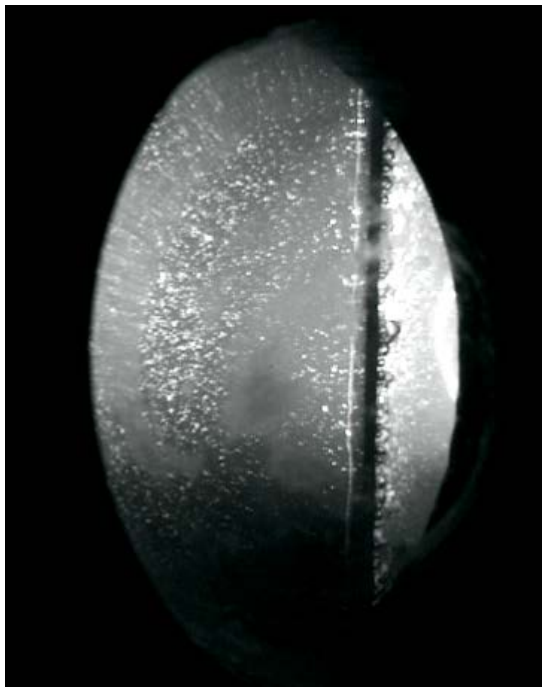
სურათებზე 1 – 5. წარმოდგენილია ექსპერიმენტების ამ სერიის შესაბამისი ვიდეოფილმების კადრები შესაბამისი კომენტარებით.



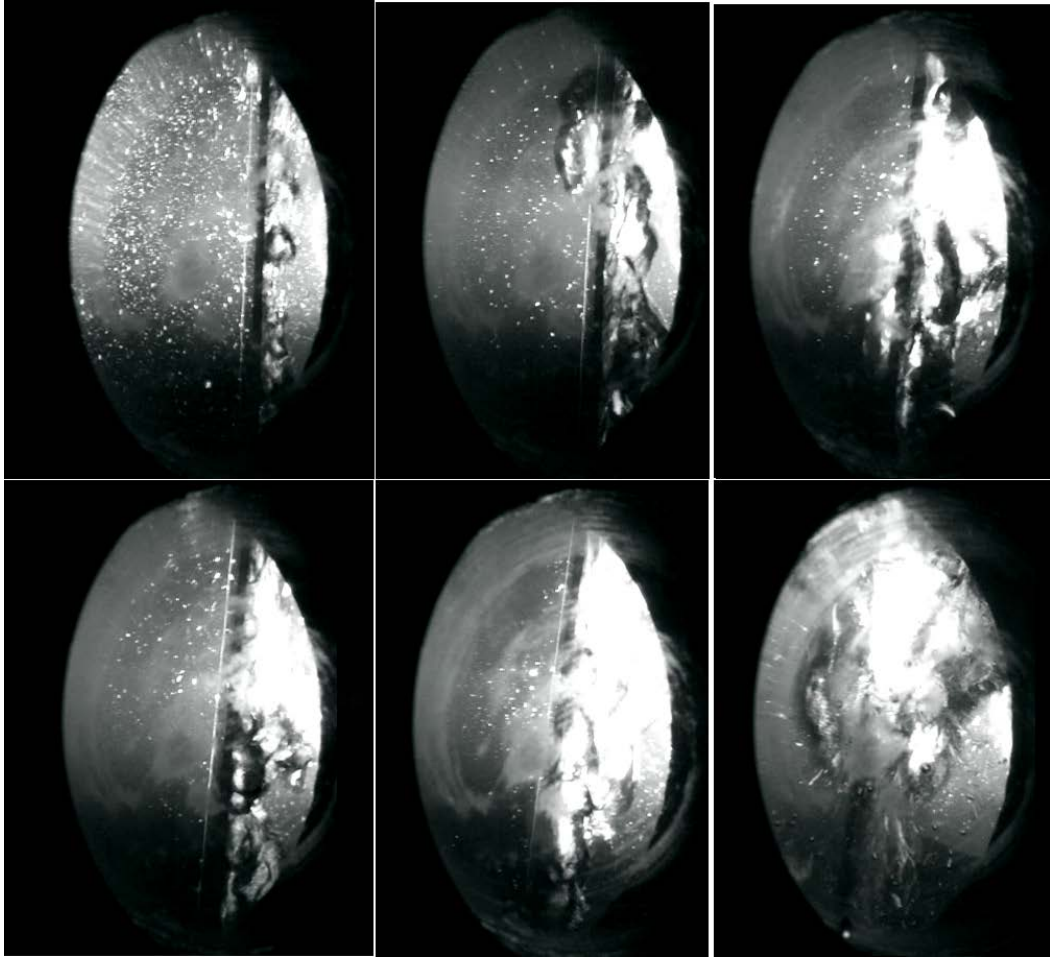
სურ. 1. პასიური გამახურებელი ფირფიტა და ადუღების ტემპერატურამდე მიყვანილი წყალი



სურ. 2. ჩართვიდან 0.022 წამში მიღებული მაქსიმალური გადახრა.

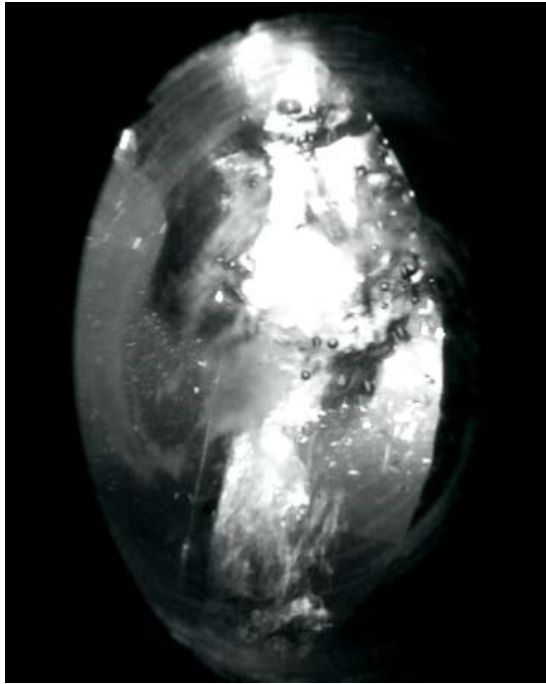


სურ. 3. დუღილის საწყისი რეჟიმი. შეიმჩნევა ფირფიტის უმნიშვნელო გადახრა.



სურ. 4. დუღილის სხვადასხვა რეჟიმები. სიმპლავრის ზრდასთან ერთად იზრდება ფირფიტის გადახრა, ანუ მოქმედი რეაქტიული ძალა

აღსანიშნავია, რომ მაღალ თბურ სიმპლავრებზე შეიმჩნევა მადულარი ელემენტის არა მარტო გადახრა ვერტიკალური მდგომარეობიდან, არამედ მთლიანი ტანით გადაადგილებაც მარჯვნიდან მარცხნივ (წარმოდგენილი კადრების მიხედვით). ვინაიდან მადულარი ელემენტის ქვედა ბოლო თავისუფალია, ხოლო ზედა ბოლო დაკავშირებულია დენმიმცვან ელასტიურ ელექტროდებთან, მაღალ სიმპლავრებზე განვითარებული რეაქტიული ძალა იწვევს არა მარტო ქვედა ბოლოს გადახრას, არამედ ძლევს ელასტიური, მაგრამ გარკვეული სიხისტის მქონე დენმიმცვანების წინააღმდეგობას და გამახურებელი ელემენტის ზედა ბოლოსაც გადაადგილებს.



სურ. 5. დუღილის კრიზისი. დაფიქსირებულია გამახურებელი ელემენტის გადაწვის მომენტი. უშუალოდ გადაწვის წინ მადულარი ელემენტი მაქსიმალურადაა გადახრილი ვერტიკალური მდგომარეობიდან

დასკვნა

შესრულებული სამუშაო და მიღებული შედეგები გვაძლევს საფუძველს გავაკეთოთ შემდეგი დასკვნები:

1. ჩატარებულია ლიტერატურული მიმოხილვა რომლის საფუძველზე შერჩეულია დუღილის პროცესში აღძრული და გამახურებელ ზედაპირზე მექანიკურად მოქმედი რეაქტიული ძალის ექსპერიმენტული კვლევის მეთოდი, დაპროექტებულია სადემონსტრაციო და ექსპერიმენტული და ლაბორატორიული დანადგარები, და მიღებული შედეგების დამუშავების მეთოდიკა.

2. პირველად არის დადგენილი, რომ დუდილის პროცესში აღიძვრება მადულარი სითხის მხრიდან გამახურებელ ზედაპირზე მექანიკურად მოქმედი რეაქტიული ძალა, რომლის სიდიდე პროპორციულადაა დამოკიდებული დუდილის დროს განვითარებულ ხვედრით თბურ ნაკადზე.

3. პირველად არის დადგენილი, რომ დუდილის პროცესში აღძრული რეაქტიული ძალის რიცხვითი მნიშვნელობა მთელი რიგით მაღალია ვიდრე დუდილის თეორიაში ცნობილი გამოსახულებით გაანგარიშებული რეაქტიული ძალა, რომელიც აღიძვრება ორთქლის მხრიდან სითხისა და ორთქლის გამყოფ ზედაპირზე და რომელიც გაპირობებულია მოლეკულების თხევადი მდგომარეობიდან აირად მდგომარეობაში გადასვლით გამოწვეული მოძრაობის რაოდენობის ცვლილებით.

4. პირველად არის გამოთქმული მოსაზრება, რომ რეაქტიული ძალის დუდილის პროცესში რეალურად განვითარებულ და გაანგარიშებით მიღებულ მნიშვნელობებს შორის დაფიქსირებული განსხვავება გაპირობებულია უშუალოდ გამახურებელ ზედაპირზე წარმოებული ორთქლადქცევის პროცესის განსაკუთრებული თავისებურებით, კერძოდ, ეგროფიციური **მზარდი ბუშტის ტუმბოს** ეფექტით, რაც განაპირობებს აღნიშნული მოვლენის შემდგომი ექსპერიმენტული კვლევის მიზანშეწონილობას.

სადისერტაციო თემის დამუშავების პროცესში შექმნილი დანადგარები წარმატებით შეიძლება იქნენ გამოყენებული ტექნიკური უნივერსიტეტის ენერგეტიკის ფაკულტეტის სტუდენტებისათვის თბოგადაცემის პროცესების სწავლებისას და განსაკუთრებით, დუდილის რეჟიმებისა და დუდილის კრიზისის საკითხებზე ლაბორატორიული ამოცანების შესრულებისას.

აპრობაცია. სადისერტაციო ნაშრომის ძირითადი შედეგები გამოქვეყნებულია რეცენზირებად და რეფერირებად ჟურნალებში:

„ენერგია“, „ინტელექტუალი“, „მშენებლობა“ შემდეგი სამეცნიერო შრომების სახით:

1. მდულარე სითხის ზემოქმედება გახურების ზედაპირზე. ჟურნალი „ენერგია“ №3 (71) 2014 წ. გვ. 45 – 49;

2. სითხის დუღილისას თბოგამომყოფ ზედაპირზე მოქმედი ძალის აღძვრის მოვლენის წინასწარი მოდელირების შედეგები. ჟურნალი „ენერგია“ №2 (74) 2015 წ. გვ. 30 – 35;

3. თანამედროვე ქართული საზოგადოება და ენერგეტიკული მეცნიერება. ჟურნალი „ინტელექტუალი“ №28 2015 წ. გვ. 118 – 124;

4. სითხის დუღილის და თანმხლები ფიზიკური მოვლენების შესასწავლი ექსპერიმენტული დანადგარი. ჟურნალი „მშენებლობა“ №1 (36) 2015 წ. გვ. 113 – 118;

სადისერტაციო ნაშრომის ძირითადი საკითხები მოხსენებების სახით გაშუქდა ქუთაისის ა. წერეთელის სახელმწიფო უნივერსიტეტის მე-2 და მე-3 საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენციებზე. აგრეთვე სტუ-ს სტუდენტთა 82-ე ღია საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენციაზე.

რეზიუმე

ნაშრომში დასაბუთებულია სითხის დუღილის დროს წარმოქმნილი და სითხის მხრიდან გამახურებელ ელემენტზე მოქმედი რეაქტიული ძალის კვლევის აქტუალობა, როგორც სუფთა გამოყენებითი, ასევე სამეცნიერო თვალსაზრისით. ჩატარებულია დუღილის თანმხლები მოვლენების და დუღილზე მოქმედი ფაქტორების ანალიზი და გადმოცემულია ხსენებული ანალიზის შედეგები.

ნაჩვენებია, რომ სითხის დუღილის თეორიაში, რომელიც ჯერ კიდევ სამწუხაროდ არ არის ბოლომდე დაზუსტებული, არსებობს მრავალნაირი მოსაზრება იმის თაობაზე თუ რა მექანიზმებით ხდება სითხის გადაცემა გამახურებელი, ანუ ამართქლებელი კედლის ზედაპირიდან სითხეში. სამეცნიერო ლიტერატურაში ყოველწლიურად ქვეყნდება დუღილის პროცესის შესწავლისადმი მიძღვნილი მრავალი ქვეყნის მეცნიერთა ასობით

ნაშრომი, რომელთა დიდი ნაწილი ეთმობა დუდილის მოვლენის თეორიულ და ექსპერიმენტულ კვლევას. გაანალიზებულია დუდილის ინტენსივობაზე მოქმედი მრავალი ფიზიკური და გეომეტრიული ფაქტორი და წარმოდგენილია დუდილის მექანიზმის თაობაზე სხვადასხვა ავტორის მიერ შემოთავაზებული მოსაზრებები.

ნათქვამია, რომ თანამედროვე ეტაპზე, უკვე ჩამოყალიბებულია რამოდენიმე თეორიული კონცეფცია, რომელთა საფუძველზე ჩატარებული გაანგარიშებების შედეგები გარკვეულწილად დამაკმაყოფილებლად ემთხვევიან ექსპერიმენტულ შედეგებს. ნათქვამია აგრეთვე, რომ ყველაზე კარგ შედეგებს იძლევა დუდილის ეგრეთწოდებული **მულტიფაქტორინგის** თეორია, რომელიც ქართველი მეცნიერების მიერაა დამუშავებული პროფესორ ირაკლი შეყრილაძის ხელმძღვანელობით. ამ თეორიის მიხედვით დუდილის პროცესში ადგილი აქვს გამახურებელი ელემენტის ზედაპირიდან სითხეში სითხოს გადაცემის სხვადასხვა მექანიზმების და დუდილის ინტენსივობაზე მოქმედი ფაქტორების ერთობლივ მოქმედებას და, ამასთან, გარკვეულ სხვადასხვა პირობებში მადომინირებელ როლს თბოგაცემის ინტენსიურობაში იკავებენ სხვადასხვა ფაქტორები და სხვადასხვა მექანიზმები.

ზემოხსენებული **მულტიფაქტორინგის** თეორიის მიხედვით ბუშტის ზრდისას წარმოიქმნება ეგრეთწოდებული „**მზარდი ბუშტის ტუმბოს ეფექტი**“, რაც გამოისახება მზარდი ბუშტის მიერ სითხის გასროლით მადულარი ზედაპირის მხრიდან სითხის სიღრმეში. ეს ეფექტი დაფიქსირებულია აგრეთვე იმ შემთხვევაშიც, როცა მადულარი ზედაპირი ქვემოთაა მიმართული და მიუხედავად სიმძიმის ძალის მიმართულებისა მზარდი ბუშტი გაცხელებულ სითხეს ისვრის ქვემოთ. ცხადია, რომ მზარდი ბუშტის მიერ სითხის მადულარი ზედაპირიდან შორს გასროლას თან უნდა სდევდეს ბუშტის მხრიდან გარკვეული რეაქტიული ზემოქმედება თვით მადულარ ზედაპირზე.

გარდა აღნიშნულისა, უნდა ითქვას, ძალიან გავრცელებულია მოსაზრება იმის თაობაზე, რომ დუდილის განმავლობაში ორთქლწარმოქმნის პროცესის დიდი ნაწილი მოდის მზარდი ბუმტის მადულებელ ზედაპირთან შეხების ზედაპირის გარშემო არსებული სითხის **სოლისებურ უბანზე** და ხსენებული ურთიერთშეხების ცენტრალური უბნის, ანუ მშრალი ზედაპირის ფართობის ზრდასთან ერთად იზრდება ბუმტისქვეშა წრიულად განლაგებული სითხის სოლის წრიული ზომა, რასაც თან სდევს სოლის წვერზე აორთქლებული სითხის რაოდენობის ზრდა და გამახურებელ ზედაპირზე მოქმედი რეაქტიული ძალის წარმოქმნა.

მზარდი ბუმტის ტუმბოს ეფექტის კონცეფციის გაერთიანებით მასთან კარგ თანხვედრაში მყოფ, ბუმტისქვეშა სითხის სოლისებური არედან აორთქლების კონცეფციასთან დამუშავებულია შესასწავლი მოვლენის, კერძოდ რეაქტიული ძალის წარმოქმნის გეომეტრიული მოდელი. ეს უკანასკნელი გამოყენებულია ლაბორატორიული ექსპერიმენტული დანადგარის პროექტირებასა და ცდების ჩატარების შესაბამისი მეთოდის დამუშავებაში. ნაშრომში აღწერილია ამ პროექტით შექმნილ დანადგარზე ჩატარებული კვლევის შედეგები.

დადგენილია, რომ დუდილის პროცესში აღძრული რეაქტიული ძალის რიცხვითი მნიშვნელობა მთელი რიგით მაღალია ვიდრე დუდილის თეორიაში ცნობილი გამოსახულებით გაანგარიშებული რეაქტიული ძალა. გამოთქმულია მოსაზრება, რომ რეაქტიული ძალის დუდილის პროცესში რეალურად განვითარებულ და გაანგარიშებით მიღებულ მნიშვნელობებს შორის დაფიქსირებული განსხვავება გაპირობებულია უშუალოდ გამახურებელ ზედაპირზე წარმოებული ორთქლადქცევის პროცესის განსაკუთრებული თავისებურებით, კერძოდ, ეგროფობული **მზარდი ბუმტის ტუმბოს** ეფექტით, რაც განაპირობებს აღნიშნული მოვლენის შემდგომი ექსპერიმენტული კვლევის მიზანშეწონილობას.

ნაშრომში წარმოდგენილია როგორც ვიზუალური დაკვირვებით, ისე სწრაფი ვიდეოგადაღებით მიღებული ინფორმაცია და უშუალო გაზომვების შედეგები, რომლებიც ნათლად ადასტურებენ დუდილის პროცესში მადულარ ზედაპირზე მოქმედი რეაქტიული ძალის აღძვრის მოვლენას. დადგენილია, რომ ხსენებული რეაქტიული ძალა პირდაპირპროპორციულადაა დამოკიდებული დუდილის დროს განვითარებულ ხვედრით თბურ ნაკადზე და კრიტიკული თბური დატვირთვის სიახლოვეში შეადგენს 20-30 ნიუტონს კვადრატულ მეტრზე. ეს სიდიდე მთელი რიგით აღემატება რეაქტიული ძალის თეორიული გაანგარიშებით მიღებულ სიდიდეს, რაც იმაზე მეტყველებს, რომ გარდა უშუალოდ მოლეკულების მოძრაობის რაოდენობის ცვლილებისა, რეაქტიული ძალის აღძვრაში, ჩვენი აზრით, მონაწილეობს ჯერ კიდევ უცნობი სხვა მექანიზმი, რომელიც უთუოდ დაკავშირებულია მზარდი ბუმტის ტუმბოს ეფექტთან.

ნაშრომი შედგება შესავალის, ოთხი თავისა და დასკვნებისაგან. ციტირებული ლიტერატურის სია შეიცავს ძირითადად უცხოური წყაროების 43 დასახელებას. ექსპერიმენტული მონაცემები დამუშავებულია Microsoft Office Excel 2007 პრაგრამით და წარმოდგენილია დანართში სწრაფი ვიდეოგადაღებით მიღებული ვიდეოფილმების შემცველ დისკეტასთან ერთად.

ნაშრომის შედეგები აპრობირებულია ორ საერთაშორისო კონფერენციაზე. ნაშრომის სხვადასხვა ნაწილები გამოქვეყნებულია ოთხ სამეცნიერო სტატიაში, მათ შორის ერთი თანაავტორების გარეშე.

Abstract

The dissertation work describes the Research actuality of Reactive force, which is created during boiling of liquid and which acts on heating surface. This actuality has as a purely practical, as well as scientific importance. The work accomplished by boiling and boiling accompanying phenomena influencing factors analysis and set out the results of this analysis. The paper says that since the boiling liquid theory is still not well developed, so every year there are published in the scientific literature in many experimental works that relate to this problem.

Liquid boiling process represents a very complex process, as the thermodynamic and hydrodynamic point of view. In addition, the liquid boiling process is widely used in many fields of techniques and technology. Therefore, the right knowledge and the accurate calculation of the liquid boiling process provides many technological system to normal operation and proper conduct of the ongoing processes. Fluid boiling heat transfer mechanism is one of the most important problems in the theory. Scientists have developed several models of fluid boiling mechanism, but so far there is no exact calculation of fluid boiling any formula, for which there is still a preference for experimental works. That is the purpose of the present study.

The paper analyzes the many factors that affect the intensity of the liquid boiling process and considered all the liquid boiling mechanism, are proposed by different authors. It is said that at the present stage, has already established a number of theoretical concepts, which allow the calculation results are consistent with the experimental results satisfactorily. Most experiments were in good agreement with the so-called **Multifactoring** boiling theory, which was developed by a group of Georgian scientists led by Professor Irakli Shekrladze. According to this theory, Different mechanisms of heat transfer, and the various factors that may affect the intensity of boiling, operate simultaneously and in different

conditions, different factors and mechanisms occupy a central role in the heat transfer process.

According to the above theory of **Multifactoring**, vapor bubble growth leads to the emergence of the so-called "**Pumping Effect of Growth Bubble**", which is reflected in the fluid shot from the warming surface to the depths of liquid. By the way, this pumping effects are seen even in the case, when warming surface is facing down and the hot fluid is being emitted in the opposite direction of gravity force. This physical phenomenon plays key role in boiling heat transfer and hydrodynamics. In addition, the "pumping effect of growth bubble" can play a potentially important role of in the boiling crisis and hydrodynamics in some important boiling systems. The problem of pumping effect of growth bubble generated high-frequency cyclic thermal stresses in heating surfaces, important in terms of reliability of nuclear power plants.

It should be noted also, that it is held on the liquid boiling process that the biggest part of the warmth is transferred is spent on evaporation of the liquid, which is located under the growth bubble and has a **wedge-shape**. The size of the fluid wedge layer (dry section diameter) continually is growing and this is accompanied by an increase in the number of vaporized fluid, accompanied by warming the surface of the reactive power generation.

The paper gives the geometric model of process to generating reactive power, which was based on the union of two concepts, namely Pumping Effect of Growth Bubble and wedge-shape evaporation. This geometric model is used in the laboratory experimental equipment design and testing of appropriate methods of treatment. This paper describes the experimental installations and their research results.

It is estimated that in liquid boiling process arise the reactive force, whose numerical value is higher than the reactive force, which is calculated in accordance with the theory of boiling. It is suggested that, the difference, between actually occurred (during the boiling liquid) reaction force and its calculated

values due to the fact that is caused by the fact that the increase of the steam bubble directly on the heating surface, characterized by a complex feature of the above-mentioned **Pumping Effect of Growth Bubble**. This shows the feasibility of further studies of reactive power, which arises in the process of boiling liquid.

The work is presented as a visual as well as fast video received information and direct measurements. These results clearly supports the phenomenon of occurrence of reactive force in the process of boiling of liquids. It found that the reaction force depends directly proportional from the specific heat flow and at the boiling crisis and reaches 25-35 Newton per square meter, which is much larger than its estimated value. This suggests that in addition to changing the of momentum of molecules at the phase transition, in the appearance of the reaction force involved more different, yet unknown mechanism, which we believe, is connected to the pumping effect of the growing bubble.

The thesis consists of introduction, four chapters and conclusions. The list of quoted literature includes 43 titles. Experimental data of different series have been provided in the supplement at the end of the thesis, which have been processed via Microsoft Office Excel 2007 program. There is also a high-speed video recording containing a copy of the results.

The results of the thesis have been approved at two international conferences. The different parts of the thesis have been published in four scientific articles, including one - without co-authors.