

საქსაქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

მინაგო მეფარიშვილი

თერმო-ჰიდროდინამიკური პროცესების გამოკვლევა ახალი ტიპის
თბურამძრავიან მემბრანულ ტუმბოში

წარმოდგენილია დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად

სადოქტორო პროგრამა 04 06

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

თბილისი, 0175, საქართველო

2015 წელი

საავტორო უფლება © 2015 წელი, მინაგო მეფარიშვილი

თბილისი

2015 წელი

სამუშაო შესრულებულია საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტში
სამშენებლო ფაკულტეტი
წყალმომარაგების, წყალარინების, თბოაირმომარაგებისა და
შენობათა საინჟინრო აღჭურვის დეპარტამენტი

ხელმძღვანელი: პროფესორი ი. შეყრილაძე

რეცენზენტები: პროფესორი ო. ფურცელაძე

პროფესორი დ. ლაოშვილი

დაცვა შედგება 2015 წლის 14 ივლისს 15⁰⁰ საათზე
საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის სამშენებლო
ფაკულტეტის სადისერტაციო საბჭოს კოლეგიის სხდომაზე,
კორპუსი 1, II სართული, ფლიგელი ბ, აუდიტორია 215^ბ

მისამართი: თბილისი 0175, კოსტავას 68

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

სადისერტაციო საბჭოს მდივანი : პროფესორი დ. ტაბატაძე

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

2015

ავტორი: მეფარიშვილი მინაგო

დასახელება: თერმო-ჰიდროდინამიკური პროცესების გამოკვლევა ახალი ტიპის თბურამძრავიან მემბრანულ ტუმბოში

ფაკულტეტი: სამშენებლო

აკადემიური ხარისხი: დოქტორი

სხდომა ჩატარდა: 2015

ინდივიდუალური პიროვნებების ან ინსტიტუტების მიერ
ზემოთ მოყვანილი დასახელების დისერტაციის გაცნობის მიზნით მოთხოვნის
შემთხვევაში მისი არაკომერციული მიზნებით კოპირებისა და გავრცელების
უფლება მინიჭებული აქვს საქართველოს ტექნიკურ უნივერსიტეტს.

ავტორის ხელმოწერა

ავტორი ინარჩუნებს დანარჩენ საგამომცემლო უფლებებს. მთლიანი ნაშრომის
ან მისი ცალკეული კომპონენტების გადაბეჭდვა, ან სხვა რაიმე მეთოდით
რეპროდუქცია დაუშვებელია ავტორის წერილობითი ნებართვის გარეშე.
ავტორი ირწმუნება, რომ ნაშრომში გამოყენებული საავტორო უფლებებით
დაცულ მასალებზე მიღებულია შესაბამისი ნებართვა (გარდა იმ მცირე ზომის
ციტატებისა, რომლებიც მოითხოვენ მხოლოდ სპეციფიურ მიმართებას
ლიტერატურის ციტირებაში, როგორც ეს მიღებულია სამეცნიერო ნაშრომების
შესრულებისას) და ყველა მათგანზე იღებს პასუხისმგებლობას.

რეზიუმე

ენერჯის განახლებადი წყაროების, პირველ რიგში, მზისა და ქარის ენერჯის ფართო და ეფექტური გამოყენება გლობალურ ეკონომიკურ და სოციალურ პრიორიტეტს წარმოადგენს, რაც მძლავრად აისახება თანამედროვე ტექნოლოგიურ პროგრესზე.

მიმდინარე ეტაპზე მზის ენერჯეტიკული პოტენციალის ფართო გამოყენების მასშტაბური პრობლემა ეკონომიკურად ყველაზე ეფექტურად დაბალი ტემპერატურის სითბოს გამოყენების სფეროში არის გადაწყვეტილი (მაგალითად, ბრტყელი ჰელიოკოლექტორების სითბოზე მომუშავე გათბობისა და ცხელი წყლის მომარაგების სისტემები). მნიშვნელოვანი პროგრესია აგრეთვე მიღწეული მზის ენერჯიაზე მომუშავე წყალსატუმბი ტექნიკის განვითარებაში, სადაც ჰელიო-ფოტოელექტრულ წყაროებზე მომუშავე ელექტროტუმბოების ტექნიკურ-ეკონომიკური უპირატესობა იკვეთება.

ამავე დროს ეფექტური გამოყენების გარკვეულ არეალს ინარჩუნებს დაბალი ტემპერატურის სითბოზე მომუშავე ტუმბოებიც, განსაკუთრებით, თუ ჰელიოკოლექტორის ან რაიმე ტექნოლოგიის ნარჩენი სითბო გამოიყენება. ამ მიმართულების ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი კონკრეტული ამოცანაა ბრტყელ ჰელიოკოლექტორზე დაფუძნებული ცხელი წყლის მომარაგების სისტემის ეკონომიურობისა და ავტონომიურობის ამაღლება, ცხელი წყლის გადატუმბვის განხორციელებით თვით სისტემის თბური ენერჯის ხარჯზე, ენერჯის დამატებითი გარე წყაროების (ელექტროენერჯის ან ორგანული სათბობების) გამოყენების გარეშე.

ამ მიმართებით სერიოზულ ინტერესს იმსახურებს 1990-იან წლებში შემოთავაზებული თბურამძრავიანი მემბრანული ტუმბო (თამტ), რომლის ფუნქციონირება ერთ საკანში შუალედური მუშა აგენტის აორთქლებისა და კონდენსაციის პროცესების მონაცვლეობაზე არის დაფუძნებული და რომელიც პოტენციალურად დაბალი ტემპერატურის სითბოს მომხმარებელია. დაბალი პოტენციალის სითბოზე მომუშავე ტუმბოების დამუშავების სამუშაოები მსოფლიოს რიგ ქვეყნებში ტარდება.

ამ კონტექსტში სადისერტაციო სამუშაოს მიზანს წარმოადგენდა თამტ-ს ახალი მოდიფიკაციის ექსპერმენტული მოდელის შექმნა, მასში მიმდინარე თერმო-ჰიდროდინამიკური პროცესების თეორიული და ექსპერიმენტალური კვლევა (თერმოდინამიკური ციკლის კომპიუტერული მოდელირების ჩათვლით), ბრტყელ ჰელიოკოლექტორზე დაფუძნებული ცხელი წყლის მომარაგების სისტემასთან მიმართებაში მისი ქმედითუნარიანობისა და ეფექტიანი ფუნქციონირების პოტენციალის გამოვლენა და შეფასება.

შეიქმნა თბურამძრავიანი მემბრანული ტუმბოს (თამტ-ს) ახალი მოდიფიკაციის ექსპერმენტული მოდელი, ჩატარდა მასში მიმდინარე თერმო-ჰიდროდინამიკური პროცესების თეორიული და ექსპერიმენტალური გამოკვლევა. გამოკვლევულ იქნა თამტ-ს ახალი მოდიფიკაციის ექსპერიმენტული მოდელის მუშა საკანში მიმდინარე თერმო-ჰიდროდინამიკური პროცესები, იმ ძირითადი თავისებურების ფონზე, რომ მუშა აგენტის ორთქლის კონდენსაცია ორსიჩქარიან რეჟიმში ხორციელდება და მემბრანა მუშა საკნიდან არის გატანილი. კერძოდ, შესწავლილია მუშა საკნის ფუნქციონირება როგორც ჩაკეტილ პულსაციურ, ასევე გადატუმბვის რეჟიმებში.

მუშა საკნის ფუნქციონირების ჩაკეტილი პულსაციური რეჟიმების შესწავლის შედეგად დადასტურდა თხევადდგუმიანი მუშა საკნის თვითგაშვებადობა და ქმედითუნარიანობა, შესაძლებელი გახდა თამტ-ს ახალი მოდიფიკაციის წარმადობის წინასწარი შეფასება.

მუშა საკნის ტუმბოს რეჟიმში ფუნქციონირების შესწავლის შედეგად დადგინდა თამტ-ს მარგი ქმედების კოეფიციენტისა (მქკ) და დაწნევის (სასარგებლო დაწნევის) დამოკიდებულებების ექსპერიმენტალური მრუდი და წარმადობის რეალიზებადი დიაპაზონი.

თამტ-ს ახალი მოდიფიკაციის მოდელის მქკ-ისა და წარმადობის დადგენილი დონეები ადასტურებს ახალი მოდიფიკაციის პერსპექტიულობას ბრტყელ ჰელიოკოლექტორიანი ცხელი წყლის

მომარაგების სიტემის ეფექტურობისა და ავტონომიურობის ამაღლების ამოცანის გადაწყვეტის კონტექსტში.

ნაშრომმა აპრობაცია გაიარა ერთ საერთაშორისო კონფერენციაზე, მისი მასალების მიხედვით გამოქვეყნებულია სამი სამეცნიერო შრომა.

Abstract

Wide and efficient use of renewable sources of energy, particularly solar energy and wind energy, it is one of the global economic and social priorities, with a strong reflection in the modern technological progress.

At current stage, a large-scale problem of development the solar energy potential is solved in the most cost-effective way in the field of low temperature heat (e.g., heating and hot water supply on the basis of flat solar collectors). Significant progress has also been made in the development of the solar pumping, especially in the field of photovoltaic pumping systems that steady progress to victory in the competition with pumps that use other types of renewable energy.

At the same time, the pumps operating on low-temperature heat, also retain the area of effective use, especially if they use technological heat without significant heat losses or using waste heat. Consequently it became an important specific task in this field of R&D to improve the efficiency and autonomy of the hot water system based on a flat solar collector by pumping water using heat from the system itself, without any additional external sources of energy (electricity and fossil fuels).

In this context, it presents serious interest proposed in 1990s specific steam engine-pump (thermal powered membrane pump (TPMP)) alternating evaporation and condensation processes of an intermediate agent in the single working chamber and capable operate using low temperature heat. Besides, the pumps operating on low-grade heat are under development in several countries.

In this context, the dissertational work was aimed at creating an experimental model of a new modification of the TPMP, theoretical and experimental studies of thermo-hydrodynamic processes taking place in the pump (including analysis and computer modeling of the thermodynamic cycle), the identification and evaluation of its performance and potential of the effective functioning with respect to the hot water supply system based on a flat solar collector.

The experimental installation was set up and relevant experimental procedures have been developed. Thermo-hydrodynamic processes taking place in the working chamber of the experimental model the new modification of TPMP were studied taking into account the two main features: two-speed condensing mode and placing the membrane outside the working chamber. The operation of the working chamber was studied in the closed (pulsating) mode and the pumping mode as well.

Investigation of the working chamber with the liquid piston in the closed (pulsating) mode showed the ability the TPMP to self-start and continue to work reliably. Also became possible to pre-evaluate the performance of the new modification.

Investigation the working chamber with the liquid piston in the pumping regime allowed to experimentally determine the dependence of the efficiency of the TPMP on useful head and the attainable range of the pump performance.

Identified efficiencies and performance of the TPMP new modification confirms prospections of the modifications in the context of solving the problem of improving the efficiency and autonomy of the hot water system based on flat solar collector.

The results of the dissertation works are published in 3 scientific articles and are reported at the international scientific conference.

შინაარსი

ტიტულის გვერდი	i
ხელმოწერების გვერდი	ii
საავტორო უფლების გვერდი	iii
რეზიუმე ქართულ ენაზე	iv
რეზიუმე ინგლისურ ენაზე	vii
შინაარსი	ix
ნახაზების ნუსხა	xi
შესავალი	13
თავი 1. ალტერნატიულ განახლებად ენერჯიებზე მომუშავე წყლის	
სატუმბი სისტემები	18
1.1. ქარის ენერჯიაზე მომუშავე სატუმბი სისტემები	18
1.2. ბიომასის ენერჯიაზე მომუშავე სატუმბი სისტემები	22
1.3. განახლებადი ენერჯიის წყაროების ჰიბრიდულ სქემებზე მომუშავე სისტემები	24
1.4. მზის ფოტოელექტრული სატუმბი სისტემები	26
1.5. მზის სითბოზე მომუშავე სატუმბი სისტემები	30
1.5.1. ორთქლის ძრავის ციკლზე დაფუძნებული მზის სითბოს გამომყენებელი სატუმბი სისტემები	31
1.5.2. მეთალ-ჰიდრიდის გამომყენებელი სატუმბი სისტემები . .	33
1.6. აორთქლება-კონდენსაციის ციკლით მზის ენერჯიაზე მომუშავე მემბრანული ტუმბოს განვითარების ეტაპები	35
1.7. მიმოხილვის შედეგების შეჯამება და სადისერტაციო სამუშაოს ძირითადი ამოცანების განსაზღვრა	45
თავი 2. მზის ენერჯიაზე მომუშავე თბურამძრავიანი მემბრანული ტუმბოს	
ახალი მოდიფიკაცია და მისი თერმო-ჰიდროდინამიკური მოდელი	47
2.1. თბურამძრავიანი მემბრანული ტუმბოს ახალი მოდიფიკაცია ტიხრით	47

2.2. თბურამპრავიანი მემბრანული ტუმბოს თხევადდგუშიანი მოდიფიკაცია	55
2.3. თბურამპრავიანი მემბრანული ტუმბოს რეალური თერმოდინამიკური ციკლის ანალიზისა და კომპიუტერული მოდელირების შედეგები.....	60
თავი 3. თხევადი დგუშის თერმო-ჰიდროდინამიკის გამოკვლევის შედეგები.....	79
თავი 4. მოდიფიცირებული თბურამპრავიანი მემბრანული ტუმბოს ექსპერიმენტული მოდელი, თერმო - ჰიდროდინამიკური პარამეტრების საკვლევ სტენდი, კვლევის მეთოდიკა და შედეგები.....	84
4.1. თბურამპრავიანი მემბრანული ტუმბოს ექსპერიმენტული მოდელი.....	84
4.2. თბურამპრავიანი მემბრანული ტუმბოს ექსპერიმენტული მოდელის საკვლევ სტენდი, კვლევის მეთოდიკა და კვლევის ძირითადი შედეგები.....	86
ძირითადი დასკვნები.....	92
ლიტერატურა.....	94
დანართები.....	101

ნახაზების ნუსხა

ნახ.1. ქარის ენერგიაზე მომუშავე წყალსატუმბი სისტემა.....	19
ნახ.2. საქართველოს ტერიტორიის დარაიონება ქარის მაქსიმალური სიჩქარეების მიხედვით.....	21
ნახ.3. ბიომასის ენერგიაზე მომუშავე წყლის სატუმბი სისტემა.....	22
ნახ.4. ბიოგაზის წყლის სატუმბი სისტემა.....	23
ნახ. 5. ჰიბრიდული ენერჯის წყაროზე მომუშავე წყალსატუმბი სისტემა...	25
ნახ.6. მზის ფოტოელექტრული სატუმბი სისტემის სქემა აკუმულაციის ბატარეით.....	26
ნახ.7. საირიგაციო დანიშნულების ფოტოელექტრული სატუმბი სისტემა.	30
ნახ. 8. მზის სითბოზე მომუშავე სატუმბი სისტემა.....	30
ნახ.9.ორთქლის ძრავის ციკლზე დაფუძნებული სატუმბი სისტემა	31
ნახ. 10. თამტ–ს პრინციპული სქემა.....	41
ნახ.11.თამტ-ს რეალური თერმოდინამიკური ციკლი.....	43
ნახ. 12. ბრტყელ ჰელიოკოლექტორში თამტ-ს ინტეგრაციის პრინციპული სქემა.....	44
ნახ. 13. თამტ-ს ტიხრიანი მოდიფიკაციის პრინციპული.....	48
ნახ.14. თბურამძრავიანი ტიხრიანი მემბრანული ტუმბოს საცდელი მოდელის ექსპერიმენტული მაკეტი.....	52
ნახ. 15. თბურამძრავიანი ტიხრიანი მემბრანული ტუმბოს საცდელი მოდელის ექსპერიმენტული სტენდი.....	53
ნახ. 16. თამტ-ს თხევადდგუშიანი მოდიფიკაციის პრინციპული სქემა.....	57
ნახ. 17. თამტ-ს თხევადდგუშიანი მოდიფიკაციის ინტეგრირება ბრტყელ ჰელიოკოლექტორზე დაფუძნებული ცხელი წყლის მომარაგების სისტემაში.....	59
ნახ.18. თამტ-ს პულსაციური საკნის იდეალური თერმოდინამიკური ციკლი P-V და TS კოორდინატებში.....	64
ნახ.19.თბურამძრავიანი მემბრანული ტუმბოს პულსაციური საკნის	

რეალური თერმოდინამიკური ციკლი P-V და T-S კოორდინატებში.....	69
ნახ. 20. სითხის დგუმიანი თამტ-ს პულსაციური საკნის დაზუსტებული რეალური თერმოდინამიკური ციკლი P-V და T-S კოორდინატებში.....	74
ნახ.21. თამტ-ს პოტენციური მუშა აგენტების შედარება თერმოდინამიკური ციკლის კომპიუტერული მოდელის გამოყენებით.....	77
ნახ.22.თხევადი დგუშის თერმო-ჰიდროდინამიკის საკვლევი ექსპერიმენტული სტენდის სქემა.....	81
ნახ.23.თხევადი დგუშის პულსაციური გადაადგილებებისა და ხურების ზედაპირის ტემპერატურის სინქრონული პულსაციების ტიპური მრუდები.....	82
ნახ. 24. თამტ-ს ექსპერიმენტული მოდელის პრინციპული სქემა.....	85
ნახ.25.მოდულიცირებული თბურამძრავიანი მემბრანული ტუმბოს ექსპერიმენტალური მოდელის საკვლევი სტენდი.....	89
ნახ.26.თამტ-ს თეორიული და ექსპერიმენტული მოდელის "მქკ-სა და დაწნევას" შორის დამოკიდებულების ექსპერიმენტალური მრუდები.....	90
სურ.1.მზის საშუალო წლიური რადიაციის განაწილება საქართველოში....	34
სურ.2.პულსაციის რეჟიმის ფოტო.....	83
სურ.3.ს მოდულიცირებული თბურამძრავიანი მემბრანული ტუმბოს ექსპერიმენტალური მოდელის საკვლევი სტენდი.....	91

შესავალი

ენერგო რესურსების დაზოგვა და გამონაბოლქვი გაზების ემისიის შემცირება არის ერთ-ერთი ყველაზე მნიშვნელოვანი ამოცანა განვითარებული საზოგადოების მიზნების განხორციელებაში. თითქმის ნახევარი სითბოს დანაკარგებისა გაიფანტება გამონაბოლქვი გაზების სახით. ენერგო რესურსების დაზოგვისა და ნახშირორჟანგის ემისიის შესამცირებლად საჭიროა ენერგო ეფექტურობისა და ენერგოდაზოგვის გაუმჯობესება. იაპონიაში, რომელიც ცნობილია როგორც ერთ-ერთი ყველაზე ენერგოეფექტური ქვეყანა მოწინავე ტექნოლოგიებით, საერთო ჯამი სითბოს დანაკარგებისა მიწოდებული პირველადი ენერჯის 10% რიგისაა.

თანამედროვე მსოფლიოსათვის ეს პრობლემა ეხება ყველა სახელმწიფოს. ენერგეტიკული უსაფრთხოება და ეკოლოგიის შენარჩუნება ეს ის საკითხებია, რომლებიც საერთაშორისო დონეზე აღიარებულია, როგორც თანამედროვე საზოგადოების განვითარებისათვის ერთ-ერთ უმნიშველოვანესი წინაპირობა. ექსპერტების შეფასებით, ქვანახშირის მარაგები ამოიწურება უახლოეს 200 წელიწადში, ნავთობისა და ბუნებრივი აირის კი 60-70 წელიწადში. ენერგეტიკის აღნიშნული პრობლემების გადაჭრის ერთ-ერთ ძირითად გზას წარმოადგენს ენერჯის განახლებადი წყაროების თანდათანობითი და ფართო მასშტაბებით ათვისება. წარმოებული პროდუქციის მაღალი ენერგოტევადობა პირდაპირ გავლენას ახდენს ეკონომიკის ეფექტურობაზე. ენერგოეფექტური ტექნოლოგიების შემუშავება, დანერგვა და რელიზება მნიშვნელოვანია ყველა ზემოთ ჩამოთვლილი პრობლემის გადასაჭრელად.

ზემოთ აღნიშნული პირობების და გამოწვევების არსებობის დროს, თავისთავად დგება საკითხი ენერჯის განახლებადი წყაროების ათვისების აუცილებლობაზე.

თანამედროვე ტექნიკის დარგებს შორის, რომლებიც მიმართულია ადამიანების ცხოვრების დონის ამაღლებისაკენ, დასახლებული პუნქტების კეთილმოწყობისაკენ და წარმოების განვითარებისაკენ წყალმომარაგება

იკავებს მთავარ ადგილს. უნდა აღინიშნოს, რომ გარდა მოსახლეობისა და საწარმოების უზრუნველყოფისა, წყალმომარაგებას უზარმაზარი მნიშვნელობა აქვს სასაოფლო სამეურნეო დანიშნულებისათვის მიწების ხელოვნური სარწყავი სისტემების მოწყობას. ეფექტური წყალსატუმბი სისტემების შექმნის პრობლემა არატრადიციული წყაროების გამოყენების ერთ-ერთ მნიშვნელოვან ამოცანას წარმოადგენს.

თემის აქტუალობა. ენერჯის განახლებადი წყაროების, პირველ რიგში, მზისა და ქარის ენერჯის ფართო და ეფექტური გამოყენება გლობალურ ეკონომიკურ და სოციალურ პრიორიტეტს წარმოადგენს, რაც მძლავრად აისახება თანამედროვე ტექნოლოგიურ პროგრესზე. მიმდინარე ეტაპზე მზის ენერჯეტიკული პოტენციალის ფართო გამოყენების მასშტაბური პრობლემა ეკონომიკურად ყველაზე ეფექტურად დაბალი ტემპერატურის სითბოს გამოყენების სფეროში არის გადაწყვეტილი (მაგალითად, ბრტყელი ჰელიოკოლექტორების სითბოზე მომუშავე გათბობისა და ცხელი წყლის მომარაგების სისტემები). მნიშვნელოვანი პროგრესია აგრეთვე მიღწეული მზის ენერჯიაზე მომუშავე წყალსატუმბი ტექნიკის განვითარებაში, სადაც ჰელიო-ფოტოელექტრულ წყაროებზე მომუშავე ელექტროტუმბოების ტექნიკურ-ეკონომიკური უპირატესობა იკვეთება. ამავე დროს ეფექტური გამოყენების გარკვეულ არეალს ინარჩუნებს დაბალი ტემპერატურის სითბოზე მომუშავე ტუმბოებიც, განსაკუთრებით, თუ ჰელიოკოლექტორის ან რაიმე ტექნოლოგიის ნარჩენი სითბო გამოიყენება. ამ მიმართულების ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი კონკრეტული ამოცანაა ბრტყელ ჰელიოკოლექტორზე დაფუძნებული ცხელი წყლის მომარაგების სისტემის ეკონომიურობისა და ავტონომიურობის ამაღლება, ცხელი წყლის გადატუმბვის განხორციელებით თვით სისტემის თბური ენერჯის ხარჯზე, ენერჯის დამატებითი გარე წყაროების (ელექტროენერჯის ან ორგანული სათბობების) გამოყენების გარეშე. ამ მიმართებით სერიოზულ ინტერესს იმსახურებს 1990-იან წლებში შემოთავაზებული თბურამძრავიანი მემბრანული ტუმბო (თამტ), რომლის ფუნქციონირება ერთ საკანში

შუალედური მუშა აგენტის აორთქლებისა და კონდენსაციის პროცესების მონაცვლეობაზე არის დაფუძნებული და რომელიც პოტენციალურად დაბალი ტემპერატურის სითბოს მომხმარებელია. რამდენადაც, საკმარისი ეფექტურობისა და საიმედოობის მიღწევის შემთხვევაში ასეთი ტიპის ტუმბოს ცხელი წყლის მომარაგების ხსნეული სისტემის კაპიტალური და საექსპლოატაციო მაჩვენებლების სერიოზული გაუმჯობესების პოტენციალი გააჩნია, დაბალი პოტენციალის სითბოზე მომუშავე თბური მანქანებისა და ტუმბოების დამუშავების სამუშაოები მსოფლიოს რიგ ქვეყნებში ტარდება.

ზემოთ აღნიშნულიდან გამომდინარე, **სამუშაოს მიზანს** წარმოადგენდა თამტ-ს ახალი მოდიფიკაციის ექსპერიმენტული მოდელის შექმნა, მასში მიმდინარე თერმო-ჰიდროდინამიკური პროცესების თეორიული და ექსპერიმენტალური კვლევა (თერმოდინამიკური ციკლის კომპიუტერული მოდელირების ჩათვლით), ბრტყელ ჰელიოკოლექტორზე დაფუძნებული ცხელი წყლის მომარაგების სისტემასთან მიმართებაში მისი ქმედითუნარიანობისა და ეფექტიანი ფუნქციონირების პოტენციალის გამოვლენა და შეფასება.

კვლევის ობიექტს წარმოადგენდა თერმო-ჰიდროდინამიკური პროცესები (თამტ)-ს ახალი მოდიფიკაციის ექსპერიმენტული მოდელის მუშა საკანში, იმ ძირითადი თავისებურების გათვალისწინებით, რომ მუშა აგენტის ორთქლის კონდენსაცია ორსიჩქარიან რეჟიმში ხორციელდება, ხოლო მემბრანა გატანილია მუშა საკნიდან, კერძოდ, მუშა საკნის ფუნქციონირება როგორც ჩაკეტილ პულსაციურ, ასევე გადატუმბვის რეჟიმებში.

კვლევის მეთოდები მოიცავდა თამტ-ში მიმდინარე თერმო-ჰიდროდინამიკური პროცესების თერმოდინამიკურ ანალიზს და თერმოდინამიკური ციკლის კომპიუტერულ მოდელირებას, თამტ-ს ექსპერიმენტალური მოდელის ჩაკეტილი პულსაციური და გადატუმბვის რეჟიმების ექსპერიმენტალურ კვლევას.

ნაშრომის ძირითადი შედეგებია: თამტ-ს დაზუსტებული თერმოდინამიკური ციკლი, გადახურებულ ზედაპირზე სითხის დგუშის დაჯახების თავისებურებების გათვალისწინებით; ციკლის კომპიუტერული მოდელი; თამტ-ს ახალი მოდიფიკაციის ექსპერიმენტული მოდელი და მასში მიმდინარე თერმო-ჰიდროდინამიკური პროცესების ექსპერიმენტალური კვლევის შედეგები, თამტ-ს "მარგი ქმედების კოეფიციენტისა (მქკ) და დაწნევა" დამოკიდებულებების ექსპერიმენტალური მრუდის ჩათვლით.

ნაშრომის მეცნიერული სიახლე უკავშირდება თამტ-ს ახალი მოდიფიკაციის თავისებურებათა და პარამეტრების პირველ კვლევას, კერძოდ, თამტ-ს დაზუსტებული თერმოდინამიკური ციკლის პირველ ანალიზსა და კომპიუტერულ მოდელირებას, ახალი მოდიფიკაციის ექსპერიმენტალური მოდელის პირველად შექმნას და მასში მიმდინარე თერმო-ჰიდროდინამიკური პროცესების ექსპერიმენტალურ კვლევას, ახალი მოდიფიკაციისათვის დამოკიდებულებების "მქკ - დაწნევა" ექსპერიმენტალური მრუდის მიღების ჩათვლით.

ნაშრომის შედეგების გამოყენების სფერო არის გათბობისა და ცხელი წყლის მომარაგების სისტემები. კონკრეტულად, თამტ-ს მოცემული მოდიფიკაცია ბრტყელ ჰელიოკოლექტორზე დაფუძნებული ცხელი წყლის მომარაგების ავტონომიურ სისტემაში გამოყენებაზე არის გამიზნული. ზოგადად ნაშრომის შედეგების გამოყენების სფერო უფრო ფართოა და მზის ენერჯიაზე და დაბალი ტემპერატურის ნებისმიერი სხვა ტიპის სითბოზე (ნარჩენი სითბოს ჩათვლით) მომუშავე სატუმბ სისტემებს მოიცავს. თამტ-ს ეფექტური რეალიზაცია და დანერგვა საშუალებას მოგვცემს თვისებრივად ავამაღლოთ ხსენებული ტიპის ცხელი წყლის მომარაგების სისტემის ავტონომიურობა, გადატუმბვისათვის ენერჯის ნებისმიერი დამატებითი წყაროს (მზის ენერჯის გარდა) საჭიროების გამორიცხვის გზით. ეს განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია ელექტროქსელებიდან მოშორებული ზონების (მათ შორის, მთიანი

რეგიონების) ეკონომიკური, სოციალური და კულტურული განვითარებისათვის, ტურიზმის განვითარების ჩათვლით.

ნაშრომმა აპრობაცია გაიარა ერთ საერთაშორისო კონფერენციაზე, მისი მასალების მიხედვით გამოქვეყნებულია სამი სამეცნიერო შრომა.

თავი 1. ალტერნატიულ განახლებად ენერჯიებზე მომუშავე წყლის სატუმბი სისტემები

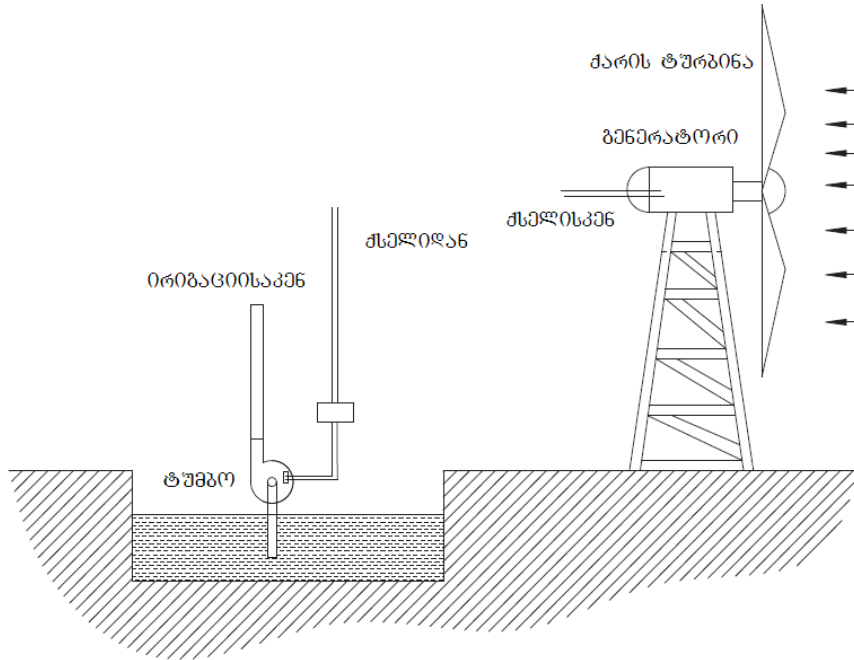
წარმოდგენილ თავში მოცემულია კვლევისა და დამუშავების სფეროს თანამედროვე მდგომარეობის მიმოხილვა და ანალიზი, დასახულია გამოკვლევის ამოცანები. განახლებადი ენერჯიის წყაროების წყლის სატუმბი სისტემები ხუთ ძირითად ჯგუფად იყოფიან. ესენია: 1. ქარის ენერჯიაზე მომუშავე სატუმბი სისტემები; 2. ბიომასის ენერჯიაზე მომუშავე სატუმბი სისტემები; 3. განახლებადი ენერჯიის წყაროების ჰიბრიდულ სქემებზე მომუშავე სისტემები; 4. მზის ფოტოელექტრული სატუმბი სისტემები; 5. მზის სითბოზე (ბრტყელი ჰელიოკოლექტორის ჩათვით) მომუშავე სატუმბი სისტემები. მიმოხილვის ძირითადი ნაწილი ეძღვნება ამ სისტემათა შედარებით ანალიზს.

ენერჯიის განახლებადი წყაროების, მაგალითად, ბრტყელი ჰელიოკოლექტორის სითბოს ან დაბალი ტემპერატურული პოტენციალის სხვა ტიპის იაფი ან ნარჩენი სითბოს ბაზაზე წყლის სატუმბი მოწყობილობის შექმნა წარმოადგენს რა აქტუალურ ამოცანას, ბოლო ათწლეულებში, ამ ამოცანის პოტენციალურად ეფექტური გადაწყვეტის კონტექსტში, დამმუშავებელთა ყურადღება თბურამძრავიანმა მემბრანულმა ტუმბომ (თამტ) მიიპყრო, რომლის ანალიზიც აგრეთვე წარმოდგენილია მოცემულ თავში.

1.1. ქარის ენერჯიაზე მომუშავე სატუმბი სისტემები

ამ დროისათვის მსოფლიოში ექსპლუატაციაში არის ქარის ენერჯიაზე მომუშავე ასი ათასი წყლის სატუმბი სისტემა. მათი უმრავლესობა მუშაობს იმ რაიონებში, სადაც არ არის ცენტრალიზებული ელექტრომომარაგება. ყველაზე ხშირად მათ იყენებენ ისეთ შემთხვევებში, როდესაც წყლის სადღეღამისო მოთხოვნილება 10 მ^3 -ს არ აჭარბებს. წყლის გადატუმბვა არცთუ დიდი ქარის ენერჯიის სისტემების გამოყენებით გახდა პოპულარული თავისი მოქნილობით სხვა მექანიკურ სისტემებთან შედარებით და მისი უპირატესობით - დააგროვოს ელექტროენერჯია სხვა

საჭიროებებისთვისაც (დააგროვოს ელექტროენერგია მაღლა განლაგებულ რეზერვუარში წყლის დაგროვებით და საჭიროების შემთხვევაში წყლის გრავიტაციული პოტენციალი ისევ ელექტროენერგიად აქციოს).



ნახ.1. ქარის ენერგიაზე მომუშავე წყალსატუმბო სისტემა

ქარის ენერჯის წყლის სატუმბო სისტემებში ნახ.1 ქარის ენერჯის როტორი შეერთებულია მუდმივმაგნიტებიან სინქრონულ გენერატორთან, რომელიც ქარის ენერჯას გარდაქმნის ელ. ენერჯად. სინქრონული გენერატორები უპირველესყოვლისა განკუთვნილია აკუმლატორის ბატარეის დასატენად, ასინქრონული გენერატორები კი ტიპური არიან ქარის დიდ ტურბინებში. გენერატორი შემდეგ უერთდება საერთო ინდუქციურ ძრავს, რომელსაც რწყვისთვის მოქმედებაში მოჰყავს ცენტრიდანული ტუმბო. [1] - ქარის ენერჯია შეიძლება წარმატებულად იქნეს გამოყენებული გრუნტის წყლების გადასაქაჩად იმ ადგილებისათვის, სადაც ადექვატური ქარის ენერჯის რესურსებია. საჭიროების მიხედვით წყალი შეიძლება იყოს ამოქაჩული მიწის ზედა მაღალ საცავამდე და იქიდან სიმძიმის ძალის მოქმედებით გადანაწილებული. [2] - კვლევებმა აჩვენეს რომ ტურბინების ფრთებს შეუძლიათ გარდაქმნან კინეტიკური ენერჯის 35%, ამ ენერჯის 51% შეიძლება დაიკარგოს სისტემის ელექტრულ კომპონენტებზე (გამმართველი, აკუმლატორი, ინვერტორი). როგორც

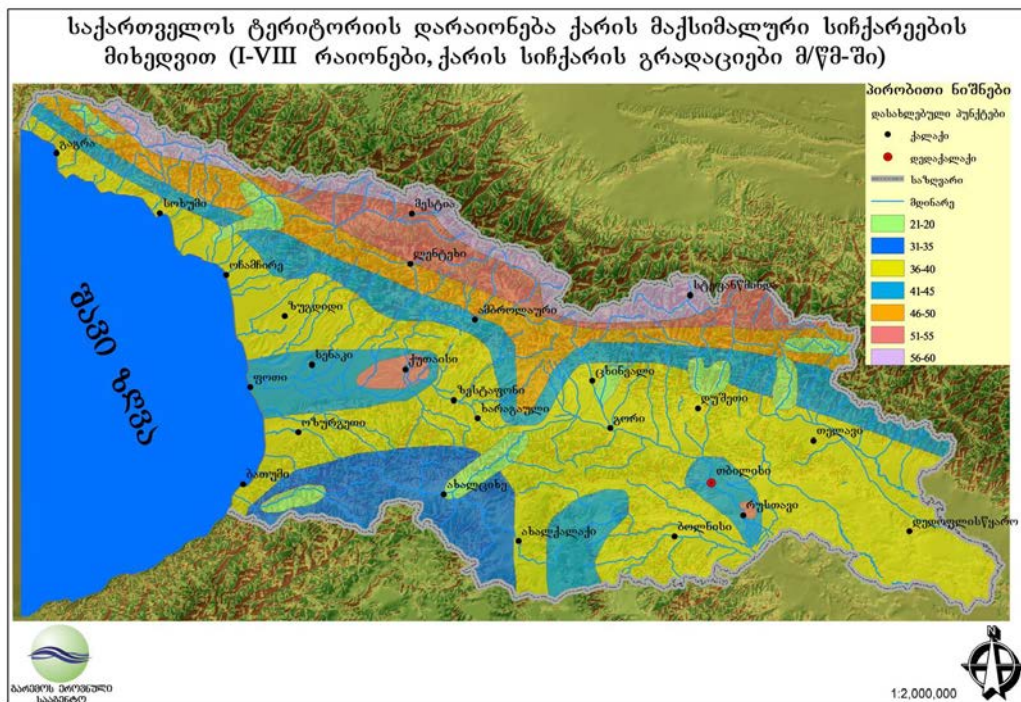
მაქსიმუმი, მხოლოდ 17% გამოიყენება წყლის გადასაქაჩავად. ენერჯის გარდაქმნის პროცესში იკარგება ენერჯის დიდი რაოდენობა. კინეტიკური ენერჯის შენახვა სატუმბ სისტემებში დატვირთვის მიერთებამდე წარმოადგენს უმნიშვნელოვანეს საკითხს.

ეკონომიკურად ქარის ენერჯიაზე მომუშავე წყლის სატუმბი სისტემების გამოყენების შეფასება მოხდა სვადასხვა ქვეყნებისათვის: [3] [4] ინდოეთი, [5] ჩინეთი, [6] კენია, [7] [8] იორდანია, [9] ომანის სასულთნო. მიმდინარე ხარჯების მიხედვით ქარის წყალსატუმბი სისტემები შედგებიან: სისტემის ღირებულების, პირველადი დადგმის ღირებულების, ექსპლოატაციისა და ტექნიკური მომსახურების ხარჯებისაგან. სისტემის ღირებულება მოიცავს მთელი სისტემის ღირებულებას, მათ შორის კომპის, სადენების, კონდენცირების ბლოკისა და წყლის ტუმბოსი; დადგმის ღირებულება შეიცავს მიწის ღირებულებას, მიტანისა და დაყენების ღირებულებას; წლიური ღირებულება ექსპლოატაციასა და მომსახურებაზე ივარაუდება სისტემის საწყისი ღირებულების 3%-ის ოდენობით. ტექნიკური მომსახურების ხარჯები მოიცავენ: ტურბინის ფრთების შეღებვის ხარჯებს 6 წელიწადში ერთხელ, ტუმბოს სარქველების შეცვლის ხარჯებს 4 წელიწადში ერთხელ. დანადგარის საერთო ხარჯი შეიძლება გამოისახოს როგორც, აეროდინამიკული სისტემის ნომინალური ელექტრონული სიმძლავრის ფუნქცია. აქედან გამომდინარე ხარჯების მოცულობითი მნიშვნელობა მცირდება სისტემის სიმძლავრის ზრდით. ქარის ტურბინის მიერ გამომუშავებული ელექტროენერჯის წლიური ღირებულება უდრის საწყისი ღირებულებისა და სიცოცხლის სავარაუდო ხანგრძლიობის(წლებში) ფარდობას დამატებული წლიური ექსპლოატაციისა და ტექნიკური მომსახურების ხარჯები. კილოვატ საათი ენერჯის ღირებულება კი უდრის წლიური ღირებულება გაყოფილი წლიურ ენერჯო გამომუშავებაზე.

ეკოლოგიის მხრივ: [10-11] - ქარის ტურბინები იწვევენ ხმაურს მექანიკურად და აეროდინამიკულად; [12,13,16] - ვიზუალური ზემოქმედება განპირობებულია ფერით, ზომით, მანძილით ქარის

ტურბინის ადგილამდე და მოციმციმე ჩრდილებით; [14] - ქარის ტურბინები ირიბად, მაგრამ მაინც მოქმედებენ კლიმატის გლობალურ ცვლილებაზე; [15] - სისტემა ახდენს უარყოფით გავლენას ცხოველებსა და ფრინველებზე.

შეზღუდვები: ქარის ენერჯის წყლის სატუმბი სისტემები [17] - არინ უფრო ძვირი, ვიდრე ფოტოელექტრული სისტემები; ქარის სიჩქარე არ არის თანაბარი, რაც გავლენას ახდენს წარმადობაზე; დანაკარგები ქარის წყალსაქაჩ სისტემებში მეტია, ვიდრე ფოტოელექტრულში, აქედან გამომდინარე მოითხოვება ტექნიკური მომსახურება მექანიკური კომპონენტებისათვის; [18]-ხმაურის ეფექტი (გაღვიძების) არის რთული საკითხი ქარის ტურბინების განთავსებისათვის; ქარის ენერჯის წყალსაქაჩი სისტემები იკავებენ სასოფლო სამეურნეო მიწებს.



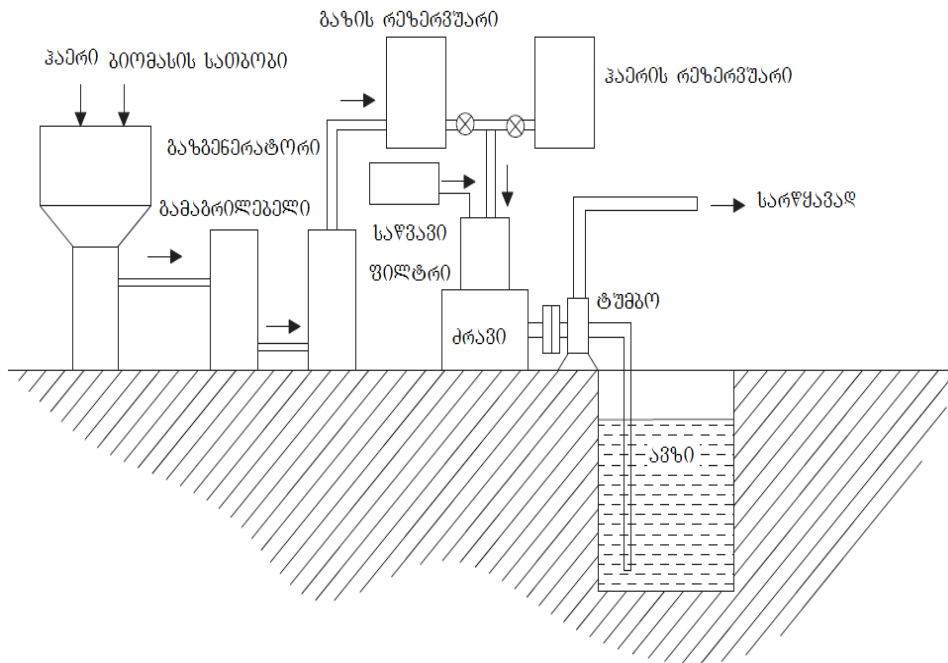
ნახ.2. საქართველოს ტერიტორიის დარაიონება ქარის მაქსიმალური სიჩქარეების მიხედვით

წყლის საქაჩმა სისტემებმა, რომლებიც იყენებენ ქარის ენერჯას საქართველოს პირობებისათვის შეიძლება ნაკლებად ჰპოვოს გამოყენება, რადგან ისეთ ადგილებში სადაც ქარის სიჩქარე მუდმივია, ნაკლებად არის

სახნავ-სათესი მიწები. შესაბამისად, ქარის ენერჯის გამოყენება სარწყავი სისტემებისათვის არარენტაბელურია.

1.2. ბიომასის ენერჯიაზე მომუშავე სატუმბი სისტემები

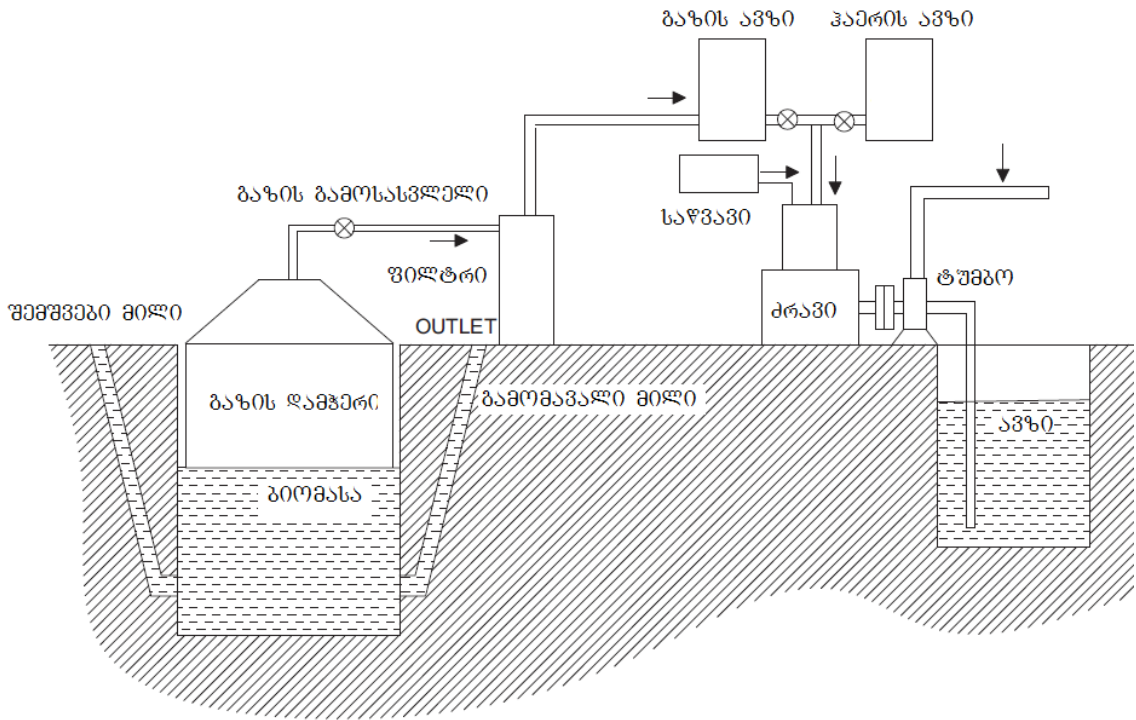
ბიომასის ენერჯიაზე მომუშავე სატუმბი სისტემები მასისაგან მიღებული მეთანისა და სხვა წვადი კომპონენტების დიზელის ძრავის სათბობად გამოყენებას ეფუძნება. გაზისა და ბიოგაზის წყალსატუმბი სისტემები შედგება ბიომასის გაზგენერატორისა და ცენტრიდანულ ტუმბოსთან შერწყმულ ორგვარი საწვავის დიზელური ძრავისაგან.



ნახ.3. ბიომასის ენერჯიაზე მომუშავე წყლის სატუმბი სისტემა

გაზიფიკაცია წარმოადგენს მყარი ან თხევადი საწვავის, მყარი კარბონატული ნარჩენებისაგან თავისუფალ გაზისმაგვარ საწვავად გარდაქმნის პროცესს. მიღებული ცნობილია როგორც გაზის მწარმოებელი. გაზის მწარმოებელი წარმოადგენს ნარევეს 18-22% ნახშირბედის მონოქსიდისა, 15-19% წყალბადის, 1-5% მეთანის და 45-55% აზოტისა, სითბომბადი უნარით მიახლოებით 1100 კილოკალორია/კილოგრამი. ეს გაზის მწარმოებელი შეიძლება გამოყენებული იყოს მეორადი სახის

საწვავად დიზელის ძრავებისათვის, ცვლის რა დიზელის საწვავის 65-75%-ს. ბიომასის გაზიფიკაცია ეფექტურად გამოიყენება ელექტრო ენერჯისა და საწვავის დეცენტრალიზებული წარმოებისას. ბიომასის წყალსატუმბი სისტემის ბლოკ სქემა ნაჩვენებია ნახ. 3-ზე.



ნახ.4. ბიოგაზის წყლის სატუმბი სისტემა

ბიოგაზი გამოიყენება როგორც საწვავი შიგა წვის ძრავებისათვის, წყლის საქაჩად გამოყენებისათვის. 10 სული საქონელის მფლობელ ფერმერს თავისუფლად შეუძლია ბიოგაზის გენერატორის ბლოკის დაყენება და ყოფაცხოვრებაში დიზელის ძრავიანი ტუმბოს გამოყენება. მსხვილი რქოსანი საქონლის მწარმოებლებს შეუძლიათ აწარმოონ ბიოგაზი სარწყავი სისტემების შიგა წვის ძრავების საწვავად. ბლოკ სქემა ბიოგაზის ორმაგი საწვავის ძრავიანი წყლის სატუმბი სისტემის მოცემულია ნახ.4-ზე.

ეკონომიკური მხარე: [19] - სისტემის საერთო ღირებულება მოიცავს სისტემის საწყის კაპიტალ დაბანდებებსა და ხარჯებს დადგმის, ექსპლატაციისა და მომსახურებისათვის. მაქსიმალური წლიური რემონტისა და შეცვლების ღირებულება ივარაუდება 10% კაპიტალური

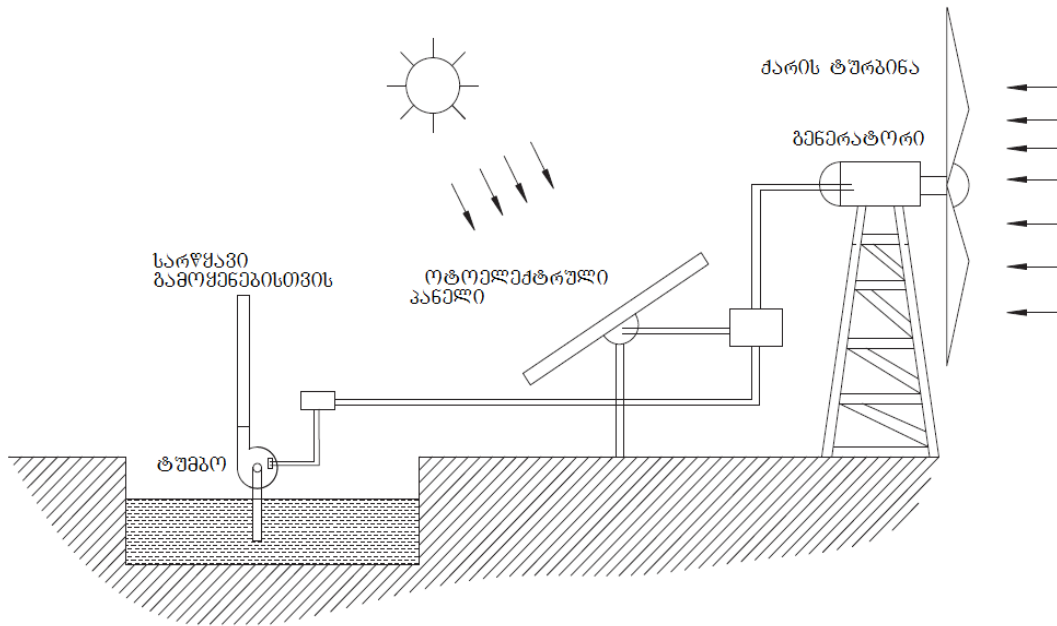
ხარჯებიდან; [20] - შეისწავლეს სისტემების ტექნიკურ - ეკონომიკური მიზანშეწონილობა ინდოეთისათვის. დაასკვნეს რომ ბიომასის წყალსაქაჩი სისტემების გამოყენება ფინანსურად არა მიმზიდველია ელ. ენერჯის ჩანაცვლების თვალსაზრისით. გაზის მწარმოებლების გამოყენებას ორმაგი სათბობის ძრავიანი ტუმბოებისათვის აქვს აზრი იმ ადგილებში, სადაც ბიომასის პირველადი ნედლეული ხელმისაწვდომად მოიპოვება. ასეთი ადგილებისათვის მათი გამოყენება ფინანსურად უფრო მომგებიანია, ვიდრე ფოტოელექტრული ან ქარის ენერჯის გამოყენება; [21-23] - მხოლოდ რამოდენიმე კვლევა იქნა ჩატარებული ბიომასის წყლის საქაჩ სისტემებზე ბიოგაზის საწვავის ცუდი სითბომბადი თვისებების გამო.

შეზღუდვები: 1.სისტემის პოტენციალი დამოკიდებულია ბევრ ფაქტორზე, როგორცაა რესურსის არსებობა, მოთხოვნა, მისაწვდომობა და ინვესტირების ტენდენცია; 2. ექსპლოატაციისა და ტექნიკური მომსახურების ხარჯები დიდია სხვა განახლებადი ენერჯის წყალსაქაჩ სისტემებთან შედარებით; 3. ბიოსაწვავს შეუძლია წარმოქმნას კოროზია ძრავის კომპონენტებში; 4. დიდია დანაკარგები ენერჯის გადაცემისას ძრავიდან ტუმბოზე; 5. ბიომასის საწვავს აქვს ძალიან დაბალი კალორიულობა, რაც გავლენას ახდენს ძრავის მუშაობაზე.

საქართველოს პირობებისათვის ასეთი წყალსატუმბი სისტემების გამოყენება უფრო სახარბიელოა საცხოვრებელ სახლთან ახლოს მდებარე საბოსტნო ნაკვეთების მოსარწყავად და საყოფაცხოვრებო მიზნებისათვის. სახნავ-სათესი მიწები, კი როგორც წესი განლაგებულია სახლიდან მოშორებით. შესაბამისად ბიო ნარჩენების და ნაკელის ტრანსპორტირება გაზრდის ასეთი სისტემების საექსპლუატაციო ხარჯებს.

1.3. განახლებადი ენერჯის წყაროების ჰიბრიდულ სქემებზე მომუშავე სისტემები

ჰიბრიდული სქემები აერთიანებენ ორ ან მეტ ფორმას ენერჯის წყაროებისას. "მზის ფოტოელექტრული-ქარის სიჩქარის" ჰიბრიდული სქემა მოცემულია ნახაზზე 5.



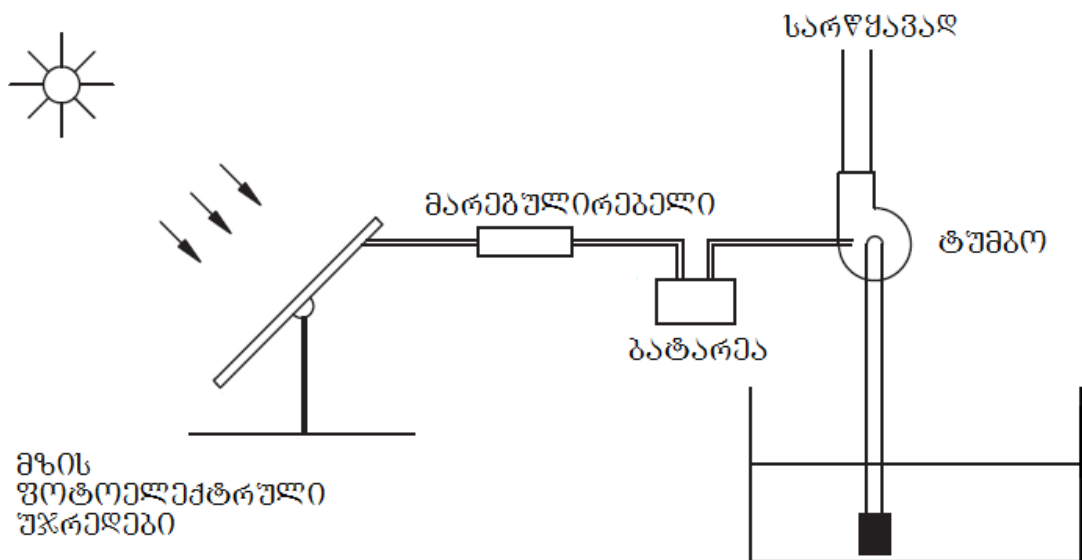
ნახ. 5. ჰიბრიდული ენერჯის წყაროზე მომუშავე წყალსატუმბო სისტემა

მზის თბური და ბიომასის ენერჯების გამოყენება ჰიბრიდულ სქემებში ნაკლებ პოპულარულია ენერჯის გარდაქმნის დაბალი ეფექტურობის გამო.

[24]-საუდის არაბეთი - კვლევები აჩვენებენ რომ ოპტიმალურ შეხამებას, "მზე-ქარის სიჩქარეს" მიყვავართ მინიმალურ კაპიტალ დაბანდებებამდე, მიახლოებით 70%-ის ოდენობით. ჩატარებული კვლევები აჩვენებენ ჰიბრიდული სქემების კვლევების საჭიროების აუცილებლობას; [25] - აშშ. ეფექტურობის პიკის მისაღწევად შესწავლილ იქნა წარმადობა "ქარი-მზე" ჰიბრიდული სისტემისა შემადგენელი ნაწილების სხვადასხვა კონფიგურაციის დროს. მათ შეიმუშავეს, მმართავი დასაბალანსებლად სიტუაციისა, როცა ჰიბრიდული სისტემის ერთი ნაწილის სიმძლავრე საჭირო სიმძლავრის დიაპაზონზე ნაკლებია, სარწყავი სისტემის ტუმბოს საკვებად გამოყენებული იქნას მეორე ნაწილის სიმძლავრე. წყაროთა წვლილების ოპტიმალური შეხამებით კაპიტალ დაბანდებებათა მინიმიზაცია არის შესაძლებელი. მთლიანობაში კი ითვლება, რომ ჰიბრიდული სქემები შემდგომ კვლევებს და დამუშავებას საჭიროებს.

1.4. მზის ფოტოელექტრული სატუმბი სისტემები.

მზის ფოტოელექტრული წყლის სატუმბი სისტემა ფოტოელემენტებით გარდაქმნის მზის სხივების ენერგიას ელექტროენერგიაში, რომლითაც ამუშავებს ელექტროტუმბოს. იგი შედგება მზის ფოტოელექტრული პანელების, ძრავისა და ტუმბოსაგან. კონსტრუქციის მიხედვით ის მოითხოვს აკუმლატორს (შენახვის ბატარეას) ნახ.6 და დამუხტვის რეგულატორს. ძრავი ირჩევა მოთხოვნილი სიმძლავრისა და სისტემის გამომავალი ნაკადის ტიპის მიხედვით. თუ ძრავი იყენებს ცვლადი დენის ნაკადს, მაშინ აუცილებლად საჭიროა მუდმივი დენის ინვერტორის დაყენება. უბატარეო სისტემები არიან მცირე ღირებულების და ითხოვენ ნაკლებ მომსახურებას, თუმცა შენახვის ბატარეებს აქვთ უპირატესობა უზრუნველყონ თანამიმდევრული მუშაობა მზის მცირე ნათების ან უმზეო საათებში. წყლის საცავი ავზის დამატება არის მეტად ეკონომიური ვიდრე აკუმლაციის ბატარეებისა. მზის ფოტოელექტრულ წყლის სატუმბ სისტემებში გამოიყენებიან მუდმივი დენის (ჯაგრისიანი და უჯაგრისო მუდმივი მაგნიტის, ცვლადი მაგნიტური წინაღობის გადამრთველი) და ცვლადი დენის ძრავები (სინქრონული და ასინქრონული). ძრავის არჩევა



ნახ.6. მზის ფოტოელექტრული სატუმბი სისტემის სქემა აკუმუმულაციის ბატარეით

დამოკიდებულია ზომებზე, მოთხოვნილ ეფექტურობაზე, ფასზე, საიმედოობასა და ვარგისიანობაზე. მუდმივი დენის ანუ უშუალო შეერთების ძრავები არიან მიმზიდველნი იმით, რომ შეიძლება მათი პირდაპირ ჩართვა ფოტოელექტრულ მასივებში. ისინი არ გამოდგებიან მაღალი დაწნევის (7კილოვატის ზემოთ) გამოყენებისათვის, სადაც ცვლადი დენის ინდუქციური ძრავები, მუდმივი დენის ცვლად დენზე გარდამქმნელით მოითხოვება. ინვერტორის გამოყენება იწვევს დამატებით ხარჯებსა და ენერჯის დანაკარგებს.

მნიშვნელოვანია მზის ფოტოელექტრული წყალსატუმბი სისტემების მართვა მაქსიმალური ეფექტურობის მისაღწევად, რისთვისაც შემუშავებულია მართვის სხვადასხვა მეთოდები: ინტელექტუალური ალგორითმის მეთოდი [26]; არაზუსტი ლოგიკის მეთოდი [27]; პროგრამირებადი ლოგიკის სქემა [28]; პროპორციულ-ინტეგრალური არაზუსტი ლოგიკის სიჩქარის მმართავი [29]; არაზუსტი ოპტიმიზაცია [30]; სტანდარტული სიხშირის გარდამქმნელი [31].

მზის ფოტოელექტრული წყლის სატუმბი სისტემები დღესაც წარმატებით გამოიყენებიან ცენტრიდან მოშორებულ ადგილებში, რომლებიც არ არიან მიერთებული ცენტრალურ ელ. ქსელებთან.

ფოტოელექტრული წყალსატუმბი სისტემების წარმადობა განპირობებულია ძრავისა და ტუმბოს ტიპების, ფოტოელექტრული პანელების ოპტიმალური ზომების, მოდულების, პანელების გაცივებისა და სისტემების მართვის მეთოდებზე. მზის ფოტოელექტრული წყალსაქაჩი სისტემების კვლევები აჩვენებენ რომ : [32] - აქვთ ექვს წლიანი უკუგების პერიდი; [33]-არიან უფრო ეფექტური, ვიდრე ტრადიციული წყალსაქაჩი სისტემები; [34]-წარმადობა ძლიერ არის დამოკიდებული გარემო პარამეტრებზე, როგორებიცაა მზის ინტენსიურობა, გარემოს ტემპერატურა, ტენიანობა, ქარის სიჩქარე; შეუძლიათ მნიშვნელოვნად შეამცირონ CO₂-ს ემისია 25 წლის განმავლობაში; [35,36]-ისინი კარგად გამოყენებადი არიან სასოფლო ადგილმდებარეობებისათვის, განსაკუთრებით ელექტრო ენერჯის დეფიციტისას; [37,38]-პირდაპირი გადაბმის ფოტოელექტრული

წყალსაქაჩი სისტემები არიან შესაბამისი დაბალი დაწნევის სარწყავი გამოყენებისთვის და მცირე მაშტაბის სარწყავი გამოყენებისათვის; გარდა ამისა შემუშავებულ იქნა ავტომატური რწყვის სისტემა, რომელიც ახდენს სარწყავად საჭირო წყლის რაოდენობის ოპტიმიზაციას; [39]-სისტემის უკეთესი წარმადობა ნაკლები ფოტოელექტრული არეთი მიიღწეოდა მასივის ზუსტად შერჩეული კონფიგურაციით; [40] - ფოტოელექტრული მასვების ზომებს ბევრად განაპირობებს მზის რადიაციის არსებობა; [41] - შეიძლება მანქანური დანაკარგების შემცირება, არეს ორიენტაციის მართვა, სიმძლავრის მიდევნების წერტილების მაქსიმიზირება; [42]-სისტემის წარმადობა დამოკიდებულია საერთო სატუმბ დაწნევაზე და სიმძლავრეზე მასივის გამოსასვლელზე. **ეკონომიკური მხარე:** სისტემის დასაყენებელი ინვესტიციის საერთო მოცულობა შეიცავს იმ კომპონენტების ღირებულებებს, როგორებიცაა: პანელები, ინვერტორები ელ. კაბელები, ტუმბოები და მილები [43]. ფოტოელექტრული პანელების ღირებულება სხვა ენერგო გენერაციის მოწყობილობებთან შედარებით მაღალია (დიზელისა და ელ. ძრავები). მიუხედავად ამისა ფოტოელექტრული სისტემები არ ითხოვენ საექსპლუატაციო დანახარჯებს თავისი არსებობის განმავლობაში ტექნიკური მომსახურებისათვის. ფოტოელექტრული სისტემები განკუთვნილია, სოფლის ისეთი რაიონებისათვის რომლებიც განიცდიან ელ. ენერჯის უკმარისობას. ფოტოელექტრული მოდულების ღირებულების შემცირება მომავალში შექმნის ამ სისტემების ოპტიმიზაციის უფრო მეტ შესაძლებლობებს [44]. ფოტოელექტრული ენერჯის გამოყენება ითვლება ძირითად რესურსად ქვეყნებისათვის, რომლებიც განლაგებულნი არიან ტროპიკულ რეგიონებში სადაც მზის პირდაპირმა ნათებამ შეიძლება მიაღწიოს 1000 ვტ/მ².

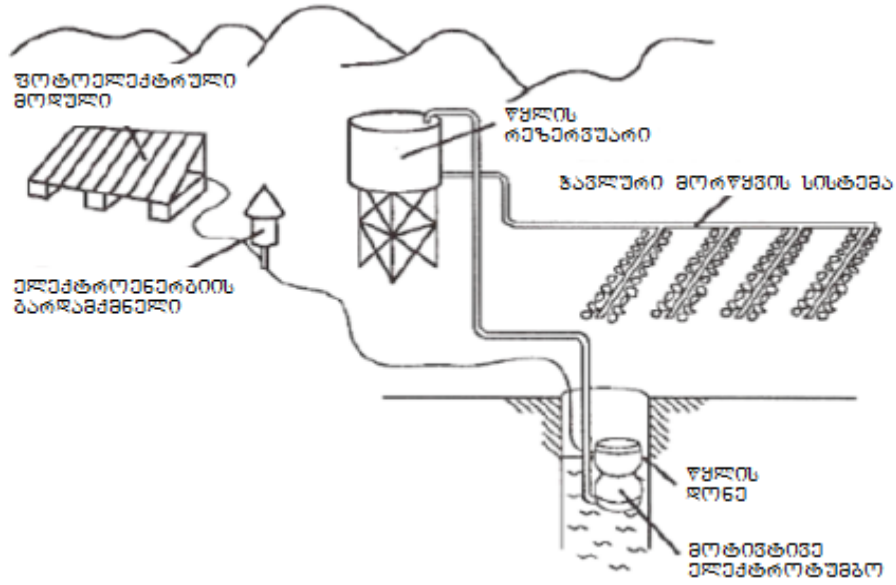
ეკოლოგია: ფოტოელექტრული სისტემები მოიხმარენ ენერჯის დიდ რაოდენობას და ასევე გამოყოფენ GHG-ს წარმოების, აწყობის, სისტემის ბალანსის, ტრანსპორტირების, მონტაჟისა და რეციკლირების დროს. იქნა გამოკვლეული 5 განსხვავებული ტიპის ფოტოელექტრული პანელის სასიცოცხლო ციკლის შეფასება ემისიის სიჩქარის თვალსაზრისით [45-50].

ხუთ ფოტოელექტრულ მოდულს შორის კადმიუმის ტელურიდის ფოტოელექტრულ სისტემას აქვს ეკოლოგიური უპირატესობები. ფოტოელექტრული სისტემების ეკოლოგიური შედეგები შეიძლება იყოს შემცირებული საწარმოო პროცესების გაუმჯობესების ხარჯზე, მოდულის მასალების მეორადი გამოყენებით და პანელის სისქისა და სხვა ნედლეულის შემცირებით.

შეზღუდვები: 1. სისტემის წარმადობა მნიშვნელოვნად არის დამოკიდებული მზის ინტენსიურობის რყევებზე [51-52]; 2. ისინი ვერ გახდნენ კომერციულად პოპულარული არასათანადო ფინანსური სქემების გამო [53]; 3. ფოტოელექტრულ ელემენტებში (უჯრედებში) ენერჯის გარდაქმნის განმავლობაში სითბო გენერირდება ფოტოელექტრულ ელემენტებში, რაც გავლენას ახდენს ფოტოელექტრული ელემენტის გამოსავლიანობაზე [54]; 4. ფოტოელექტრული პანელის ზედაპირზე მოგროვილ მტვერს, დაყენებიდან რამოდენიმე კვირაში შეუძლია დაკარგოს გამომუშავებული ენერჯის 30%-მდე, [55-56]; 5. სისტემებიდან სითბოს ამოღებისათვის უნდა იყოს შემუშავებული ეფექტური სითბო მშთანთქმელი 6. გარემოს ფარდობითი ტენიანობა და ქარის სიჩქარე გავლენას ახდენს სისტემის წარმადობაზე [57]; 7. მზის ფოტოელექტრული პანელები აწარმოებენ გლობალურ დათბობას მთელი თავიანთი სასიცოცხლო ციკლის განმავლობაში [58]; 8. ფოტოელექტრული ენერჯის გარდაქმნის ეფექტურობა არის ძალიან დაბალი.

საირიგაციო დანიშნულების ასეთი სარწყავი სისტემა წარმოდგენილია ნახ. 7-ზე. სისტემა შეიცავს მზის ფოტოელექტრულ მოდულს, ელექტრენერჯის გარდამქმნელს, ჭაში მოტივტივე ელექტროტუმბოს, წყლის დასაგროვებელ რეზერვუარს და ჭავლური მორწყვის სისტემას.

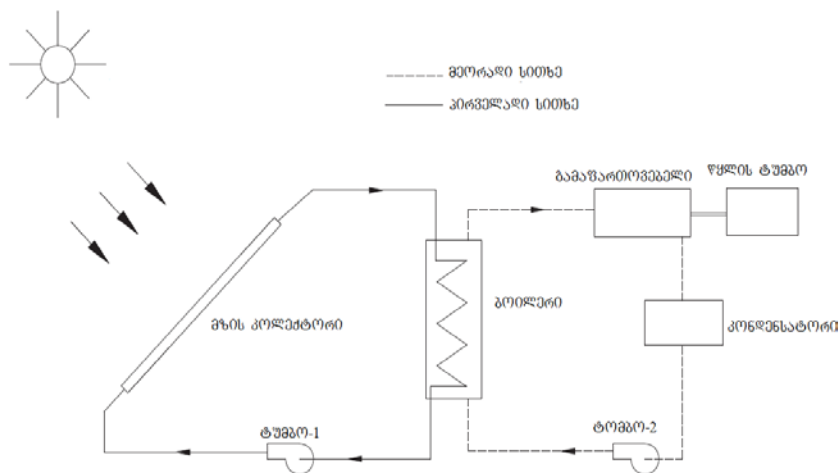
ბოლო წლებში ფოტოელექტრული სატუმბი სისტემები უაღრესად კონკურენტუნარიანი ხდებიან განახლებად ენერჯიებზე დაფუძნებულ სისტემათა შორის, რაც მზის ენერჯის ფოტოელექტრული გარდამქმნელების



ნახ. 7. საირიგაციო დანიშნულების ფოტოელექტრული სატუმბი სისტემა ტექნიკური და ეკონომიკური მახასიათებლების უწყვეტ და საკმარისად სწრაფ გაუმჯობესებას უკავშირდება.

1.5. მზის სითბოზე მომუშავე სატუმბი სისტემები.

მზის ენერჯის გამომყენებელი წყლის სატუმბი მოწყობილობები ჰელიოტექნიკის ერთ-ერთ მნიშვნელოვან მიმართულებას წარმოადგენს. მზის სითბოს წყალსაქაჩი სისტემები აქამდე არაკომერციალიზებული არიან, ენერჯის გარდაქმნის დაბალი ეფექტურობის გამო. მზის ენერჯიაზე მომუშავე წყლის სატუმბი სისტემების ძირითადი კომპონენტები გამოსახულია ნახ.8-ზე. სისტემაში ხდება მზის თბური

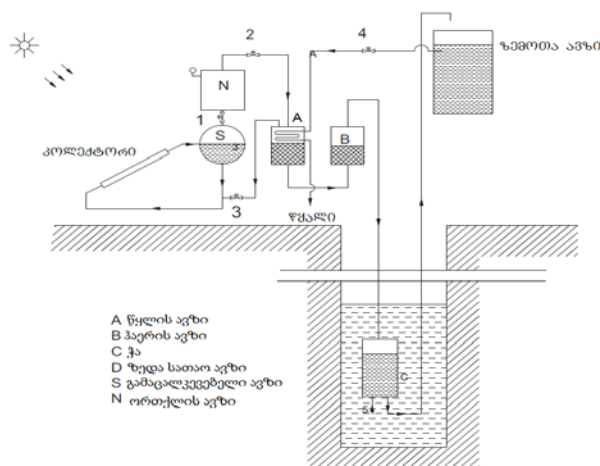


ნახ. 8. მზის სითბოზე მომუშავე სატუმბი სისტემა

ენერჯის გარდაქმნა მექანიკურ ენერჯიად. მზის თბური ენერჯის გარდაქმნელი მზის კოლექტორების ბრტყელი აბსორბერები(ფირფიტები), მათ შორის კონცენტრატორები შეიძლება გამოყენებული იქნეს სითხეში წნევის შესაქმნელად. ეს მაღალი წნევის სითხე შეიძლება იყოს გამოყენებული უშუალოდ თერმოდინამიკურ ციკლებში (რანკინის,ბრაიტონის, სტირლინგის) ან გამოყენებული არაპირდაპირი სახით მეორადი სამუშაო სითხის მიერ, მექანიკურ ენერჯიად გარდაქმნისათვის. გარდაქმნილი მექანიკური ენერჯია გამოიყენება ტუმბოს ფუნქციონირებისათვის. მზის სითბოს სატუმბო სისტემების ძირითადი უპირატესობაა მათი დაბალი ფასი, ის რომ არ თხოულობენ ტექნიკურ მომსახურებას და გარეშე მოძრავ მექანიკურ კომპონენტებს.

1.5.1.ორთქლის ძრავის ციკლზე დაფუძნებული მზის სითბოს გამომყენებელი სატუმბო სისტემები.

[59-60] - შემუშავეს ნახ.9-ზე ნაჩვენები სისტემა. ორთქლის ენერჯეტიკულ ციკლზე დაფუძნებულ, მზის სითბოს გამომყენებელ წყალსაქარ სისტემას, მზის ორთქლგენერატორითა და რეზერვუარით, მზის ბრტყელი კოლექტორის 1მ² აპერტურის არეთი და პანტანე მუშა სითხით შეეძლო აეტანა 336 ლიტრი/დღე, 250ლ/დღე და 170 ლ/დღე, შესაბამისად 6, 8 და10 მეტრზე. საერთო ეფექტურობით 0,12% - 0,14% შორის.



ნახ.9.ორთქლის ძრავის ციკლზე დაფუძნებული სატუმბო სისტემა

კვლევები აჩვენებენ რომ: [61] - მარტივი ბრტყელი კოლექტორი, კოლექტორის ფართობით 1მ^2 იყო გამოყენებული წყლის გადასატუმზად $700\text{ლ/დღე} - 1400\text{ლ} /\text{დღე}$ დიაპაზონში, შესაბამისად 6 მეტრიდან 10-მეტრამდე დაწვევის მიხედვით. ასეთ სატუმზ სისტემას შეუძლია მიაღწიოს ეფექტურობის $0,42-0,34\%$ -ს. [62] - გახურებისა და კონდენსაციის დრო იყო ოპტიმიზირებული მზის თბური სისტემების წარმადობის გასაუმჯობესებლად. იყო გადმოცემული რომ ეთილის ეთერის რაოდენობა განსაზღვრავს გახურების დროს და რომ სასურველი კონდენსაციის დრო შეიძლება მიღწეულ იქნეს გამაგრებელი კოჭის ზედაპირის ფართის ოპტიმიზირებით: [63] - შეისწავლეს მზის სითბოს გამომყენებელი წყლის ტუმზოს წარმადობა n-პენტანე-თი და ეთილის ეთერით მუშა სითხეებად. იყო გადმოცემული რომ ტუმზოს მუშაობის ეფექტურობა ეთილის ეთერით არის, თითქმის 17% -ით მაღალი, ვიდრე n-პენტანესი, განმუხტვაზე 6 მეტრიანი დაწვევისას. ეთილის ღირებულება არის დაბალი n - პანტანესთან შედარებით, რაც არის კიდევ ერთი უპირატესობა მისი გამოყენებისათვის; [64] შემუშავდა და შეფასდა მზის თბური სიმძლავრის საირიგაციო სისტემის წარმადობა აშშ-ს მეტეოლოროგიურ პირობებში. ისინი იკვლევდნენ წარმადობას მთავარი ქვესისტემებისა, როგორებიცაა კოლექტორების წყობა, სითბოს საცავი და ორგანულ მუშა სითხეზე დაფუძნებულ რანკინეს ციკლის თბოდრავები, ზაფხულის თვეებისთვის. ზაფხულის თვეების განმავლობაში კოლექტორის მასივის ეფექტურობა დაფუძნებული მზის პირდაპირ გამოსხივებაზე, ნორმალიზებულზე კოლექტორის აპერტურის სიბრტყეში იყო ნომინალურად 25% , თბური ძრავის რანკინეს ციკლის ეფექტურობა იყო 15% . გარდაქმნის ეს ეფექტურობები უამრავ სისტემურ დანაკარგებთან ერთად ზაფხულის ნათელ დღეებში იწვევს საერთო ეფექტურობას მიახლოებით 3% -ის ოდენობით. პარაზიტული დანაკარგები ამცირებენ გამოსავალ სიმძლავრეს მიახლოებით 20% -ით ნათელ დღეებში და უფრო მეტად სხვა დღეებში; [65] - შემუშავდა და გამოიცადა მზის სითბოს წყლის ტუმზოს წარმადობა R-113

მუშა სითხის გამოყენებით, დუდილის წერტილით 47,6°C 1,013 ბარზე. მათ გამოიყენეს 2მ² პარაბოლური კოლექტორი. სისტემა შემუშავებული იყო ინდოეთში და გამოცდილი გერმანიაში. მაცივარ აგენტი გადის მდგომარეობის შემდეგ ცვლილებებს ჩაკეტილ ციკლში: მზის ენერჯის გამოყენებით ორთქლდება თხევადი R-113, მზის ენერჯის გამოყენებით გადახურებული ორთქლი აწარმოებს მაღალი წნევის ორთქლს, ხდება გაფართოება მაღალი წნევის ორთქლისა მექანიკური ენერჯის გამოსავლით წყლის ტუმბოსა და კვების(მიწოდების) ტუმბოს სამუშაოდ, R-113 ორთქლი კონდენსირდება დაბალ წნევაზე გადასატუმბი სითხის გამოყენებით და ხდება წნევის მომატება თხევადი R-113-ის კვების ტუმბოში. სისტემის შიგნით წნევა შენარჩუნებული იყო ატმოსფერული წნევის ტოლად. მოქმედების განმავლობაში მაქსიმალური წნევა იყო შენარჩუნებული 3 ბარს ქვემოთ. რაც ხდის სისტემას ჩვეულებრივი მაღალი წნევის სისტემებთან შედარებით ბევრად უსაფრთხოს.

1.5.2. მეთალ- ჰიდრიდის გამომყენებელი წყალსატუმბი სისტემები.

[66] - 1970 წელს შემუშავებული იქნა მოცემული წყალსატუმბი სისტემები.

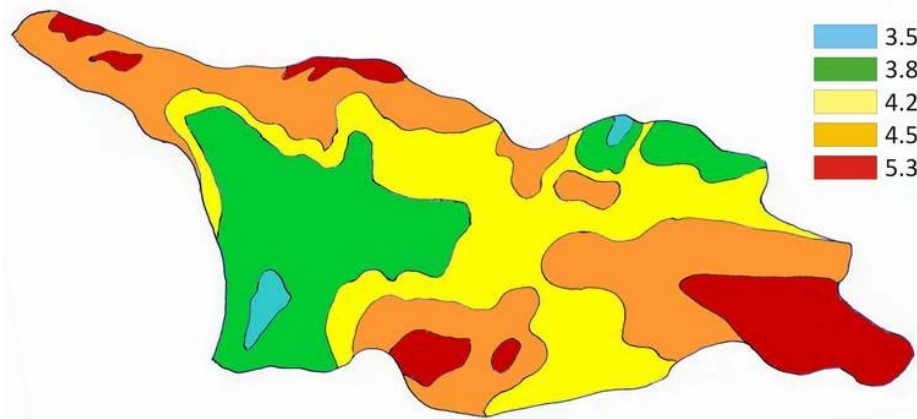
[67] - მუშაობის პრინციპი დაფუძნებულია წყალბადის თერმულ სორბციასა და დესორბციაზე, რაც იწვევს წნევის შეცვლას წყალსაქაჩი სისტემის შიგნით. ჰიდრიდული ქვესისტემა შედგება რეაქტორის საწოლისაგან, გამათბობელი და გამაგრილებელი კოჭებით და სილფონისაგან. სითბო გადაეცემა წყალბადის დესორბციისათვის საწოლიდან, რათა შეიქმნას წნევა სილფონის შიგნით მის გასაფართოებლად. დესორბციის დამთავრების შემდეგ თბომომარაგება წყდება და გადასატუმბი წყლის ნაწილი ცირკულირებს გადასატუმბად. საწოლის გაგრილება იწვევს წყალბადის შთანთქმას სილფონიდან, რაც იწვევს წნევის დაცემას და სილფონის შეკუმშვას. შთანთქმის პროცესის დამთავრების შემდეგ თომომარაგება დამთავრდება და ციკლი მეორდება.

[68] - მკვლევარები მოდელირებენ წარმადობას მზის სითბოს

გამომყენებელი წყლის სატუმბი სისტემებისას. ეს შრომები აჩვენებენ რომ შესაძლებელია 2000 ლიტრი წყლის გადაქაჩვა დღეში 1 მ² არეს მქონე კოლექტორის გამოყენებით კონსტრუქციისა და მუშაობის პირობების მიხედვით. სატუმბი სისტემის მაქსიმალური საერთო თერმული ეფექტურობა იყო მიახლოებით 1.5%.

შეზღუდვები: [69] - სითბოს გარდაქმნის ეფექტურობა არის ძალიან დაბალი; [70] - მუშა სითხეების ღირებულება, როგორებიცაა ზემოთ მოყვანილი ჰიდრიდი და n პანტანე არის მეტად მაღალი, რაც იწვევს სისტემის განუხორციელებადობას; [71] - სისტემაში გამოყენებადი ზოგიერთი სამუშაო სითხეები არიან ეკოლოგიურად არაუსაფრთხოანი; სისტემა უნდა იყოს ჰერმეტიკული, რათა აცილებულ იქნას მუშა სითხეების დანაკარგები; მზის სითბოს გამომყენებელი წყალსატუმბი სისტემები არ შეესაბამებიან დიდი ოდენობით წყლის გადაქაჩვას მაღალი დაწნევის ქვეშ.

საქართველოს ტერიტორიაზე, ჰორიზონტალურ ზედაპირზე მზის საშუალო წლიური რადიაციის განაწილების რუკა მოცემულია სურათზე 1.



სურ.1. მზის საშუალო წლიური რადიაციის განაწილება საქართველოში

მზის საშუალო წლიური რადიაციის სიდიდედ საქართველოში მიღებულია 1550 კვტ.სთ/მ²წელი, ხოლო მზის ენერჯის თეორიული პოტენციალი წელიწადში საქართველოს ტერიტორიაზე შეადგენს დაახლოებით 10¹⁴ კვტსთ–ს (100 000 მლრდ კვტსთ). აქედან გამომდინარე ჰელიოტუმბოების გამოყენების პერსპექტივები საქართველოშიც არსებობს -

მზის რადიაციის სიჭარბე და ირიგაციული, თუ სხვა ყოფითი მიზნით მათი გამოყენება ისეთ კონკრეტულ ადგილებში, სადაც ენერჯის სხვა წყაროების (ელექტროენერჯია, თბოენერჯია) დეფიციტია ან მომარაგება ძვირი ჯდება.

1.6. აორთქლება-კონდენსაციის ციკლით მზის ენერჯიაზე მომუშავე მემბრანული ტუმბოს განვითარების ეტაპები.

ეკონომიკური თვალსაზრისით წინა პლანზე გამოდის დაბალპოტენციური სითბოს რიგი წყაროებისათვის დამახასიათებელი სიაფე (ასეთია მაგალითად ყველაზე იაფ დაბალტემპერატურულ ჰელიოკოლექტორებში მიღებული სითბო ან ნარჩენი სითბო), რაც გარკვეულ წილად არბილებს მოთხოვნას ასეთი იაფი ენერჯის დაჭირხვნის მუშაობაში გარდაქნის ეფექტურობის (ე.ი. ჰელიოტუმბოს მქც-ს) მიმართ. შედეგად უფრო მნიშვნელოვანი ხდება ჰელიოტუმბოს სიაფე (ე.ი. კაპიტელდაბანდების სიმცირე), რაც თავის მხრივ მარტივი და საიმედო მოწყობილობების შექმნის აუცილებლობას უკავშირდება. დამმუშავებლები რიგი ათწლეულების მანძილზე ცდილობენ შექმნან შედარებით იაფი, ტექნიკურად მარტივი და საიმედო წყალსაქაჩი ტუმბოები, რომლებიც იმუშავენ მხოლოდ მზის ენერჯიით და მთლიანად გამორიცხავენ საწვავის ან ქსელის ელექტროენერჯის გამოყენებას. გასული საუკუნის 80-იანი წლების ბოლოს მსოფლიოს რიგ ქვეყნებში უკვე დაგროვილი იყო აღნიშნული მიმართულებით მუშაობის დიდი გამოცდილება. მიმოხილვითი ხასიათის პუბლიკაციებში [72,73] ნათლად ჩანს, რომ დაახლოებით 1970 წლამდე ჩატარებულ კვლევებში დიდი ყურადღება ეთმობოდა აორთქლის მანქანებით მოქმედ ჰელიოტუმბოებს. შემდგომში სიტუაცია იცვლება. გაეროსა და მსოფლიო ბანკის მიერ 80-იან წლებში ჩატარებული მზის ენერჯიით მოქმედი ტუმბოების გლობალური სადემონსტრაციო და გამოსაცდელი პროექტის შესრულების შემდეგ, 1983 წელს ცალსახად იქნა მიღებული გადაწყვეტილება მზის ფოტოელექტრული ტუმბოების უპირატესობის შესახებ.

ამჟამად ფოტოელექტრული ჰელიოტუმბოები ფართოდ გამოიყენება მთელ მსოფლიოში. თუმცა აღსანიშნავია, რომ მათი შედარებით მაღალი კუთრი ღირებულება კვლავ რჩება მნიშვნელოვან უარყოფით ფაქტორად [74-75]. სწორედ ეს ფაქტორი განაპირობებს იმას, რომ შენარჩუნებულია ინტერესი პოტენციურად გაცილებით ურო დაბალი კუთრი ღირებულების მქონე ორთქლის მანქანიანი ჰელიოტუმბოების მიმართ, რომელთა სრულყოფის შესაძლებლობები ჯერ კიდევ არ არის ამოწურული.

ათწლეულების მანძილზე ასეთი სახის დანადგარების განვითარების ძირითადი მიმართულებები დაკავშირებული იყო სისტემის ჰელიოორთქლ გენერატორი - ორთქლის ძრავი - მექანიკური ტუმბო დამუშავებასთან და დახვეწასთან. მუშა სხეულის გაფართოებისა და წყლის დაჭირხვნის პროცესების ერთიან მანქანაში რეალიზაციის ამოცანის ზოგადი დასმისას, მაშინვე გაჩნდა ისეთი მიზანი, როგორცაა საკუთარი ამძრავის მქონე ცალკე მკვებავი ტუმბოს ამოგდება, გარდაქმნის სხვადასხვა სტადიაზე დანაკარგების შემცირება და ა.შ. ამგვარი მიდგომის რეალიზაციის გზით ერთდროულად შესაძლებელია სისტემის გაიაფება (კონსტრუქციის გამარტივებით) და მისი ენერგეტიკული ეფექტურობის გაზრდა (ენერჯის გარდაქმნის სტადიების და დამატებითი ტუმბოების შემცირებით).

ამ თვალსაზრისით, რათქმუნდა, სერიოზული ინტერესის ობიექტი ხდება აორთქლება-კონდენსაციის ციკლით მზის ენერჯიაზე მომუშავე წყლის სატუმბი სისტემა ერთ კვანძში თბური ენერჯის სითხის დაჭირხვნის მუშაობად გარდაქმნის სრული ციკლის რეალიზაციითა და შესაბამისად ხვედრითი კაპიტალურ დაბანდებათა მნიშვნელოვანი შემცირების პოტენციალით.

ამ პრობლემის სხვადასხვა კონსტრუქციულ გადაწყვეტებს შორის არის, მცირე წარმადობის პულსაციური დიაფრაგმული ტუმბო [76], რომელშიც მზის გამოსხივების თბური ენერჯის უშუალოდ წყლის გადასაქაჩ მუშაობად გარდაქმნისათვის, დაბალ ტემპერატურაზე მდუღარე მუშა აგენტის აორთქლებისა და კონდენსაციის პროცესები გამოიყენება. ასეთ ტუმბოში კონსტრუქციულად ერთ საკანშია რეალიზებული ორთქლის

მანაქანისა და ტუმბოს ფუნქციები და მზის ენერჯის პირდაპირ მექანიკურ ენერჯიად გარდაქმნა ხდება, რაც ერთის მხრივ, უზრუნველყოფს სისტემის ძლიერ გამარტივებას და, მეორეს მხრივ, იძლევა მთლიანად მოწყობილობის მასაგაბარტული და ღირებულებითი მაჩვენებლების მკვეთრი შემცირების შესაძლებლობას. ხსენებულ ტუმბოში მუდმივად ხორციელდება აორთქლება-კონდენსაციის მონაცვლეობითი პროცესები, რომლებიც განაპირობებენ ელასტიური მემბრანის პულსაციურ მოძრაობას, რაც თავის მხრივ უზრუნველყოფს გადასატუმბი სითხის დაჭირხვნისა და შეწოვის პროცესებს.

ერთიან სივრცეში პულსაციური აორთქლება-კონდენსაციის ციკლის კონსტრუქციული რეალიზაციის სიმარტივის თვალსაზრისით განსაკუთრებით გამოირჩევა თბურამძრავიანი ტუმბო [77]. ტუმბოში განხორციელებული ციკლი ექსპერიმენტულად არ იყო შესწავლილი და ამდენად არ არსებობდა მონაცემები მისი ტექნიკურად რეალიზებადობის შესახებ. მეორეს მხრივ, ციკლის წინასწარი ანალიზი უჩვენებდა, რომ ის გზას უხსნიდა განსაკუთრებით მარტივ და საიმედო სისტემების შექმნის პერსპექტივას. ამ ციკლის რეალიზაციის საშუალების გამოკვლევა და შესაბამისი საჭირო ხნი აპარატურის დამუშავება გახდა ძალზე საინტერესო და აქტუალური ამოცანა, რომლის გადაწყვეტის პირველი ეტაპი ჩატარდა სამუშაოში [78]. ამ სამუშაოს ექსპერიმენტულ ნაწილში ძირითადად დაისვა აორთქლება-კონდენსაციური მემბრანული ტუმბოს თერმოდინამიკური ციკლის ფიზიკური რეალიზების დემონსტრირების ამოცანა, ხოლო ციკლის მაქსიმალური ეფექტურობის მიღწევის ამოცანა კი შესწავლილ იქნა მხოლოდ თეორიულად. სამუშაოში [78] დასმული ამოცანების მიხედვით დამუშავდა, შეიქმნა და გამოიცადა აორთქლება-კონდენსაციური მემბრანული ტუმბოს ორი მაკეტი.

მემბრანული ტუმბოს პირველი ექსპერიმენტული მოდიფიკაციები მარგი ქმედების კოეფიციენტის (მქკ) ძალზე დაბალი მაჩვენებლებით ხასიათდება.

ხსენებულ კონსტრუქციულ თავისებურებას ეფექტურობის თვალსაზრისით უარყოფითი შედეგიც აქვს: ორთქლის ნაწილი კამერას ისე გადაკვეთს და კონდენსირდება, რომ მუშაობას არ ასრულებს, ან მხოლოდ ნაწილობრივ მუშაობს, რაც ეფექტურობას ამცირებს. სამუშაოში [78] ჩატარებული ანალიზის თანახმად, ციკლის ეფექტურობის თვალსაზრისით, დიდი მნიშვნელობა ენიჭება კაპილარულ ხურების ზედაპირზე მუშა აგენტის სრული აორთქლების (ანუ გადასატუმბი წყლის დაჭირხვნის ტაქტის) ხანგრძლივობის წილის შემცირებას მემბრანული ტუმბოს სრულ მუშა ციკლში.

ხურების ზედაპირზე მუშა აგენტის აორთქლების პროცესის ხანგრძლივობა ორი ძირითადი ფაქტორით განისაზღვრება: კაპილარულ ზედაპირზე აორთქლების ინტენსიურობით და სიმშრალის სტადიაზე კედელში დაგროვილი სითბოს არასტაციონალური თბოგამტარობით. მაღალი თბოგამტარობის ოპტიმალური გეომეტრიის კაპილარული ზედაპირის გამოყენების შემთხვევაში აორთქლების დრო გაცილებით ნაკლები შეიძლება იყოს მემბრანული ტუმბოს სრული თერმოდინამიკური ციკლის ხანგრძლივობასთან შედარებით.

ტუმბოს შემდგომი მოდიფიკაცია [79] პირველი ორისაგან ძირითადად ხურების ზედაპირის უფრო ეფექტური კაპილარული სტრუქტურების მოძიებითა და გამოყენებით და გარკვეული ტექნოლოგიური გაუმჯობესებებით განსხვავდება.

თანამედროვე ტიპის თბური მილის შექმნამდე (გასული საუკუნის 60-იან წლებამდე) კაპილარულ ზედაპირებზე ფაზური გარდაქმნების თბოგადაცემის სფეროში მხოლოდ ერთეული სამუშაოები თუ იყო შესრულებული შემდგომმა გამოკვლევებმა კაპილარულ ზედაპირების მრავალფეროვანი ტიპები მოიცვა, დაწყებული ღარებიანი და ხრახნილიანი სტრუქტურებით და დამთავრებული ბადური და ფოროვანი ზედაპირებით [80-85]. ამასთან გადამწყვეტი ხდება თვით კაპილარული სტრუქტურის მიერ სითხის ყველაზე თხელ აფსკურ ზონებში თბური ნაკადის კონცენტრირების უნარი, რაც მნიშვნელოვან წილად განსაზღვრავს კიდევაც

თბოგაცემის კოეფიციენტის სიდიდეს. კერძოდ, კაპილარულღარებიანი ზედაპირებისათვის (რომლებიც განსახილველი ტიპის ჰელიოტუმბოში გამოიყენება) თბოგაცემის კოეფიციენტი კედლის მასალის თბოგამტარობის კოეფიციენტიდან კვადრატული ფესვის პროპორციულია.

როგორც უკვე აღინიშნა, მთლიანობაში, თბურამძრავიანი მემბრანული ტუმბოს სამი მოდიფიკაცია დამზადდა და გამოიცადა. მათ შორის პირველის როლი ფაქტიურად მხოლოდ პროცესის განხორციელებადობის დემონსტრაციის ფრიად მნიშვნელოვანი ამოცანის შეასრულებით ამოიწურა. მეორე მოდიფიკაცია - კონსტრუქციული დახვეწის გზით ეფექტურობის ამაღლების საშუალებათა ძიებით გამოირჩეოდა. შემდგომი სამუშაოს ფარგლებში შეიქმნა ტუმბოს მესამე მოდიფიკაცია, რომლის ძირითად სიახლესაც ჩატარებული კვლევების საფუძველზე შერჩეული აორთქლების ეფექტური კაპილარული ზედაპირის გამოყენება წარმოადგენდა. კერძოდ, გამოყენებულ იქნა მაღალი თბოგამტარობის (სპილენძის) ზედაპირი სამკუთხა პროფილის კაპილარული ღარებით, რამაც მკვ-ს გარკვეული საწყისი დონის მიღწევის საშუალება შექმნა. ჰელიოტუმბოს პირველი ორი მოდიფიკაციისაგან განსხვავებით, მესამე მოდიფიკაციაში აგრეთვე გადაწყდა სპეციალური პროცედურის გარეშე ტუმბოს გაშვების პრობლემა.

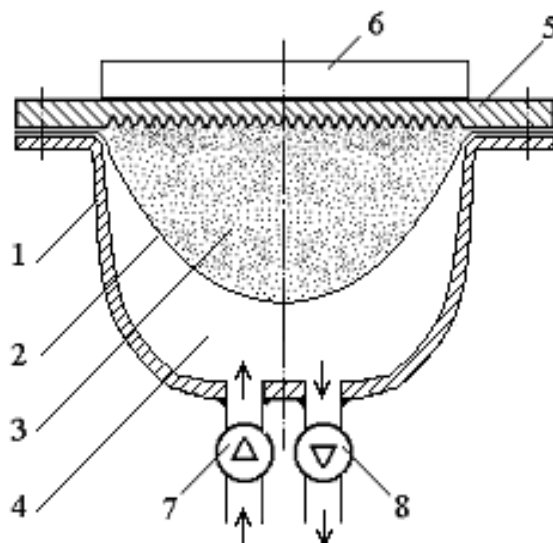
ამასთან ერთად, რამდენადაც აორთქლების დრო იგივე გადასატუმბი წყლის დაჭირხვნის ტაქტის ხანგრძლივობაა, ამ დროის შემცირებას უარყოფითი შედეგიც აქვს: მცირდება სრულ ციკლში დაჭირხვნის ტაქტის წილი და საჭირო ხდება უფრო გაზრდილი ხარჯის უფრო მოკლე დროში გატარება. ეს გარემოება, თავის მხრივ, დაჭირხვნის ხაზის ფუნქციონირების პირობებს ართულებს, აუცილებელს ხდის დაჭირხვნის სარქვლისა და მთლიანად ხაზის კვეთების და გაბარიტების გაზრდას. ასე რომ, ამ მიმართებითაც, თუმცა არაპრინციპული, მაგრამ გარკვეული შეზღუდვები მაინც არის, რომელთა გათვალისწინებაც აუცილებელია ოპტიმალური საინჟინრო გადაწყვეტების ძიებისას.

რამდენადაც ზოგადად თბურ ენერგიაზე მომუშავე სატუმბო სისტემებს უჭირთ ფოტოელექტრულ სისტემებთან კონკურენცია, აქტუალური ხდება ისეთი ტუმბოების დამუშავება, რომლებიც იმგვარად ჩაერთვებიან მომსახურებადი ობიექტის (მაგალითად, ბრტყელი ჰელიოკოლექტორის სითბოზე მომუშავე ცხელი წყლის მომარაგების სისტემის) ტექნოლოგიურ ციკლში, რომ სითბოს საკუთარი დამოუკიდებელი წყაროს გარეშე, ობიექტის სითბოს გამოყენებით იმუშავებენ და სითბოს ისევ ტექნოლოგიურ ციკლში დააბრუნებენ, ან ობიექტის ტექნოლოგიური ციკლის ნარჩენ სითბოზე იმუშავებენ. როგორც შესაბამისმა ანალიზმა აჩვენა [86,87,88] ასეთი ტუმბოს ყველაზე ეფექტურად გამოყენება შესაძლებელია მისი უშუალოდ ბრტყელ ჰელიოკოლექტორთან ინტეგრაციის შემთხვევაში, როცა შესაძლებელი ხდება ჰელიოკოლექტორში გაცხელებული წყლის გადაქაჩვასთან ერთად ტუმბოს ფუნქციონირებაზე დახარჯული სითბოს ძირითადი ნაწილის ციკლში დაბრუნება.

ამასთან ერთად, ხსენებული ტიპის ტუმბოს აქამდე რეალიზებული პროტოტიპების ტექნიკური და ეკონომიკური პარამეტრები და საიმედოობის დონე ჯერ კიდევ საკმარისი არ არის ეფექტური ინტეგრირებული სისტემის "ჰელიოკოლექტორი-ტუმბო" შექმნისათვის. განსაკუთრებით აქტუალურია ტუმბოს ხვედრითი წარმადობის ამაღლების პრობლემა. ამ მიმართებით სერიოზულ ინტერესს იმსახურებს ჩვენს მიერ უკვე მოხსენიებული 1990-იან წლებში საქართველოს ტექნიკურ უნივერსიტეტში შექმნილი ახალი ტიპის თბურამძრავიანი მემბრანული ტუმბო(თამტ) [76] რომლის ფუნქციონირება ერთ საკანში შუალედური მუშა აგენტის აორთქლებისა და კონდენსაციის პროცესების მონაცვლეობაზე არის დაფუძნებული და რომელიც პოტენციალურად დაბალი ტემპერატურის სითბოს მომხმარებელია.

თამტ კლასიკური მემბრანული ტუმბოა, მხოლოდ იმ განსხვავებით, რომ მასში ჩართულია მუშა საკანი ამორთქლებლით, გარედან გახურებადი (მაგალითად, ბრტყელი ჰელიოკოლექტორის

სითბოთი), ქვემოთ მიმართული კაპილარული ზედაპირის სახით, და კონდენსატორი – ბრტყელი დრეკადი მემბრანის სახით, რომელიც მეორე (ქვემო) მხრიდან ტუმბოს მიერ ცირკულირებადი წყლით ცივდება. საკანში შეყვანილია დუღილის დაბალი ტემპერატურის მქონე შუალედური მუშა აგენტის გარკვეული დოზა, რომელიც თამიმდევერულ აორთქლება-კონდენსაციას განიცდის. თამტ-ს პრინციპული სქემა მოცემულია ნახ. 10-ზე. არასამუშაო მდგომარეობაში ტუმბოში ვაკუუმია, მემბრანა მიჭერილია კაპილარულ ზედაპირზე, ხოლო მუშა აგენტის დოზა მათ შორის არის მომწყვდეული. გახურების დაწყების შემდეგ აგენტის აორთქლება მხოლოდ ზედაპირის მიერ დუღილის ტემპერატურის გარკვეული გადაჭარბების შემდგომ იწყება, ხოლო შემდგომი აორთქლება ისეა ორგანიზებული, რომ იგი საკმაოდ სწრაფად მიმდინარეობს, წნევა იზრდება, მემბრანა ქვევით გადაადგილდება და დამჭირხნი სარქველის გავლით წყლის მიწოდება ხორციელდება. მემბრანის გადაადგილება მანამდე გრძელდება, სანამ კაპილარულ ზედაპირზე მყოფი მუშა აგენტის თხევადი ფაზა მთლიანად არ აორთქლდება. შედეგად ეს ზედაპირი შრება, მისი გაცივება პრაქტიკულად მთლიანად წყდება და ზემოდან სითბოს მუდმივი მოწოდების პირობებში იგი გადახურებას იწყებს (ანუ თხევადი ფაზის ხელახლა დაბრუნებისთვის ემზადება).



ნახ. 10. თამბ-ს პრინციპული სქემა: 1 – მუშა საკანი; 2 – დრეკადი მემბრანა; 3-ზედა კამერა; 4 – ქვედა კამერა; 5 – სახურავი; 6 – გამხურებელი; 7 – შემწოვი სარქველი; 8 – დამჭირხნი სარქველი.

ამასობაში, აორთქლების შეწყვეტის შედეგად, ქვემოდან წყლით გაცივებადი მემბრანის ზედა მხარეზე ორთქლის უწყვეტი კონდენსაციის გამო საკანში წნევა ეცემა და შემწოვი სარქველით წყლის შეწოვა ხდება. ეს პროცესი მანამდე გრძელდება სანამ მემბრანა ზედ დაგროვილი თხევადი მუშა აგენტით გადახურებულ კაპილარულ ზედაპირს ხელახლა არ მიეკრობა და ყველაფერი (ანუ შემდგომი მუშა ციკლი) ხელახლა არ დაიწყება.

მეორეს მხრივ, როგორც უკვე აღვნიშნეთ, ერთ მუშა საკანში მარტივად განხორციელებულ ამ პროცესს ერთი მნიშვნელოვანი მინუსიც გააჩნია, რაც კონდენსაციის უწყვეტობაში გამოიხატება. მუშა სითხის აორთქლების პროცესის პარალელურად მიმდინარეობს ელასტიურ მემბრანასთან შეხებაში მყოფი ორთქლის ნაწილობრივი კონდენსაცია, რაც ამცირებს წნევას და შედეგად ტუმბოს ეფექტურობას. ე.ი. კონდენსაცია მაშინაც მიდის, როცა ის საჭირო არ არის (აორთქლების ანუ წყლის დაჭირხვნის სტადიაზეც), რის შედეგადაც ორთქლის ნაწილი მუშაობის შესრულების გარეშე კონდენსირდება. განხორციელებულ კონსტრუქციებში პარაზიტული კონდენსაციის პრობლემა აორთქლების სტადიის მაქსიმალური დაჩქარებით, ანუ მთლიან ციკლში პარაზიტული კონდენსაციის დროის მონაკვეთის წილის შემცირებით ხორციელდება.

სწორედ ამ მიზნით იყო გამოყენებული სპეციალური მიზნებისათვის ადრე დამუშავებული აორთქლების კაპილარული ზედაპირები, რომლებიც განსაკუთრებით მაღალი თბოგაცემის კოეფიციენტებით ხასიათდება.

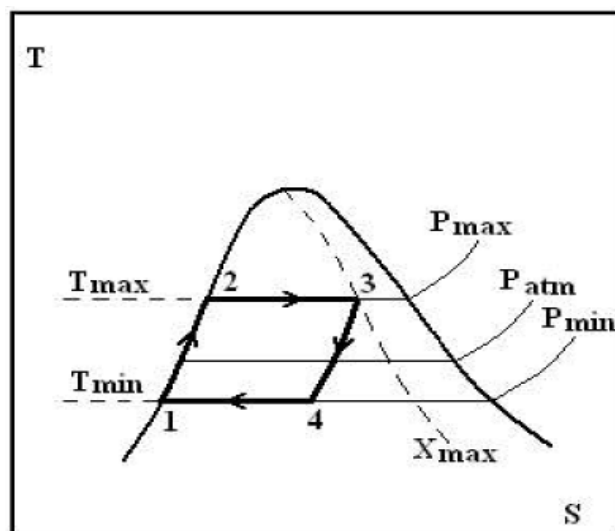
მიუხედავად ამისა, პარაზიტული კონდენსაციის პრობლემა დღის წესრიგში კვლავაც რჩება, რადგანაც მისი უარყოფითი შედეგების მინიმუმაციის ხსენებული მეთოდი მთლიანობაში კონდენსაციის

დაჩქარების შესაძლებლობას და, შესაბამისად, ტუმბოს ხვედრითი წარმადობის ამაღლებას ზღუდავს.

დამუშავებულია თამტ-ს რეალური თერმოდინამიკური ციკლი, რომელიც ნახ. 11-ზე არის წარმოდგენილი.

იმ გარემოების უგულველყოფით, რომ კაპილარული ზედაპირის ახლოობაში წყლის შეწოვის (ანუ ზედაპირის სიმშრალის და გადახურების) სტადიაზე ორთქლის ნაწილი გადახურდება, ციკლი როგორც სითბოს მიწოდების პირობებში იზოქორული კუმშვის, კვლავაც სითბოს მიწოდების პირობებში იზობარულ-იზოთერმული გაფართოების, სითბოს გაცემის პირობებში იზოქორული გაფართოების და ისევ სითბოს გაცემის პირობებში იზობარულ-იზოთერმული კუმშვის სტადიების ჯამად განიხილება.

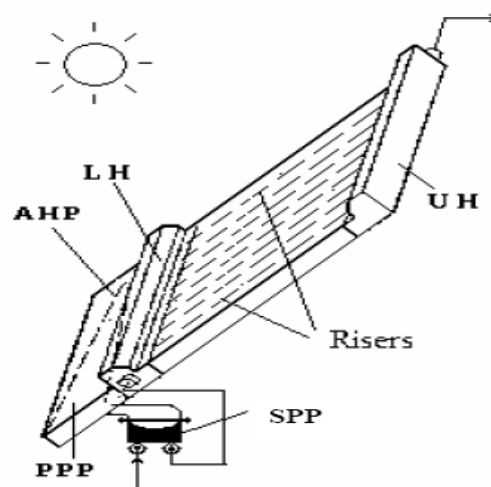
გარდა ამისა ითვლება, რომ სითბოს მიწოდების პირობებში იზოქორული კუმშვის სტადიაზე მუშა აგენტი მთლიანად თხევადი ფაზის სახით, ანუ ნულოვანი ორთქლშემცველობით ხასიათდება. რამდენადაც ამ სტადიაზე სითხეში ორთქლის ბუშტების არსებობა სრულიად შესაძლებელია, ამ დაშვების გავლენის ანალიზი რეალური ციკლის პარამეტრებზე არცთუ უმნიშვნელო ამოცანას წარმოადგენს, რაც შემდგომი კვლევების საგანი უნდა გახდეს.



ნახ.11.თამტ-ს რეალური თერმოდინამიკური ციკლი (T-ტემპერატურა; S-ენტროპია; P-წნევა)[89]

ხსენებული პარაზიტული კონდენსაციის გამო ციკლი მთლიანად ტენიანი ორთქლის ფაზაში ხორციელდება.

ბრტყელ ჰელიოკოლექტორში თამტ-ს ინტეგრაციის პრინციპული სქემა მოცემულია ნახ. 12-ზე. ჰელიოკოლექტორის ქვედა, დაახლოებით მეთედი ნაწილი გამორთულია საერთო თბური სქემიდან და გამოყენებულია თამტ-ს თბომომარაგებისათვის. თამტ უზრუნველყოფს წყლის მიწოდებას ჰელიოკოლექტორში (მაგალითად, ჭიდან) და მასში გაცხელებული წყლის მომხმარებლისათვის გადაცემას, მაგალითად სიმაღლეზე განლაგებულ ჰელიოკოლექტორში მიწოდებამდე წყალი აკონდენსირებს თამტ-ს მუშა აგენტს, წყლი თბება და შემთბარი შედის ჰელიოკოლექტორში, რის შედეგადაც ჰელიოკოლექტორიდან ართმეული სითბო თითქმის მთლიანად ბრუნდება თბურ ციკლში (მას აკლდება, თამტ-ში მუშაობად გარდაქმნილი მაქსიმუმ 2-3 % და თბოიზოლაციაში დანაკერგები, რაც საბოლოო ანგარიშში ჰელიოკოლექტორის მთლიანი თბური სიმძლავრის 1 %-ს ვერ გადააჭარბებს). სწორედ ეს გარემოება უზრუნველყოფს ამ კონკრეტულ გამოყენებაში თამტ-ს მნიშვნელოვან ეკონომიკურ უპირატესობას ფოტოელექტრული სისტემის მიმართ, რომელსაც ელექტროტუმბოსთან ერთად ძვირადღირებული ფოტოელექტრული წყაროთი დაკომპლექტებაც სჭირდება.



ნახ. 12. ბრტყელ ჰელიოკოლექტორში თამტ-ს ინტეგრაციის პრინციპული სქემა

მიმოხილული კვლევებისა და დამუშავებების შედეგების ანალიზი გვიჩვენებს, რომ თამტ პერსპექტიულ მოწყობილებას წარმოადგენს

ჰელიოკოლექტორზე დაფუნდებული ცხელი წყლის მომარაგების სისტემაში გამოყენებისათვის. ამასთან ერთად მისი კონსტრუქცია და მასში მიმდინარე პროცესები გაუმჯობესებას და დახვეწას საჭიროებს, რაც შემდგომი კვლევა-დამუშავების საგანს წარმოადგენს.

1.7. მიმოხილვის შედეგების შეჯამება და სადისერტაციო სამუშაოს ძირითადი ამოცანების განსაზღვრა

განახლებადი ენერჯის წყაროების წყლის სატუმბი სისტემების კვლევები აჩვენებენ, რომ ასეთ სისტემებს ენერჯის ტრადიციული წყაროების ჩანაცვლების მნიშვნელოვანი პოტენციალი გააჩნიათ. განახლებადი ენერჯის წყაროების ეფექტური ათვისება მნიშვნელოვან როლს თამაშობს ტრადიციული ენერჯის სახეობებზე მოთხოვნილებისა და გარემოზე მავნე ზემოქმედების შემცირებაში.

მორწყვისა და საყოფაცხოვრებო საჭიროებისათვის უპირატესად გამოიყენება მზის ფოტოელექტრული წყალსატუმბი სისტემები და ამის შემდეგ ქარის ენერჯის წყალსატუმბი სისტემები. მზის სითბოს და ბიომასის სატუმბი სისტემები ნაკლებ პოპულარული არიან ენერჯის გარდაქმნის დაბალი ეფექტურობის გამო. მიუხედავად სერიოზული მიღწევებისა, ფოტოელექტრული ტუმბოების უარყოფით მხარედ კვლავ რჩება ფოტოელემენტების მაღალი კუთრი ღირებულება, თუმცა მუდმივი სრულყოფა და გაიაფება მათ გამოკვეთილი ლიდერის პოზიციას ანიჭებს.

რამდენადაც ზოგადად თბურ ენერჯიაზე მომუშავე სატუმბ სისტემებს უჭირთ ფოტოელექტრულ სისტემებთან კონკურენცია, აქტუალური ხდება ისეთი ტუმბოების დამუშავება, რომლებიც იმგვარად ჩაერთვებიან მომსახურებადი ობიექტის (მაგალითად, ბრტყელი ჰელიოკოლექტორის სითბოზე მომუშავე ცხელი წყლის მომარაგების სისტემის) ტექნოლოგიურ ციკლში, რომ სითბოს საკუთარი დამოუკიდებელი წყაროს გარეშე, ობიექტის სითბოს გამოყენებით იმუშავენ და სითბოს ისევ ტექნოლოგიურ ციკლში დააბრუნებენ, ან ობიექტის ტექნოლოგიური ციკლის ნარჩენ სითბოზე იმუშავენ.

აღნიშნული მომენტები ხელს უწყობს პოტენციურად იაფი ჰელიოთერმოდინამიკური სისტემების მიმართ ინტერესის შენარჩუნებას, რომელთა სრულყოფის შესაძლებლობები ჯერ კიდევ არ არის ამოწურული.

მიმოხილული კვლევებისა და დამუშავებების შედეგების ანალიზი გვიჩვენებს, რომ თამტ პერსპექტიულ მოწყობილებას წარმოადგენს ჰელიოკოლექტორზე დაფუძნებული ცხელი წყლის მომარაგების სისტემაში გამოყენებისათვის. ამასთან ერთად მისი კონსტრუქცია და მასში მიმდინარე პროცესები გაუმჯობესებას და დახვეწას საჭიროებს, რაც შემდგომი კვლევა-დამუშავების საგანს წარმოადგენს.

ანალიზის საფუძველზე შემდეგნაირად ჩამოყალიბდა **სადისერტაციო ნაშრომის ძირითადი ამოცანები:**

- თამტ-ს ახალი მოდიფიკაციის ექსპერმენტალური მოდელის შექმნა, მასში მიმდინარე პროცესების, მათ შორის კონდენსაციის ორსიჩქარიანი რეჟიმის განხორციელების შესაძლებლობის, ექსპერიმენტული შესწავლისა და კონსტრუქციის დახვეწის მიზნით;
- თამტ-ს რეალური თერმოდინამიკური ციკლის ანალიზი და დაზუსტება, იზოქორული კუმშვის სტადიაზე მუშა აგენტის ნულოვანისაგან განსხვავებული ორთქლშემცველობის გათვალისწინებით
- თამტ-ს დაზუსტებული რეალური თერმოდინამიკური ციკლის კომპიუტერული მოდელირება;
- ექსპერმენტალური მოდელის ფუნქციონირების გამოკვლევა ჩაკეტილ პულსაციურ რეჟიმში;
- ექსპერმენტალური მოდელის ფუნქციონირების გამოკვლევა წყლის გადატუმბვის რეჟიმში;
- სამუშაოს შედეგების ანალიზი და საბოლოო დასკვნების გამოტანა.

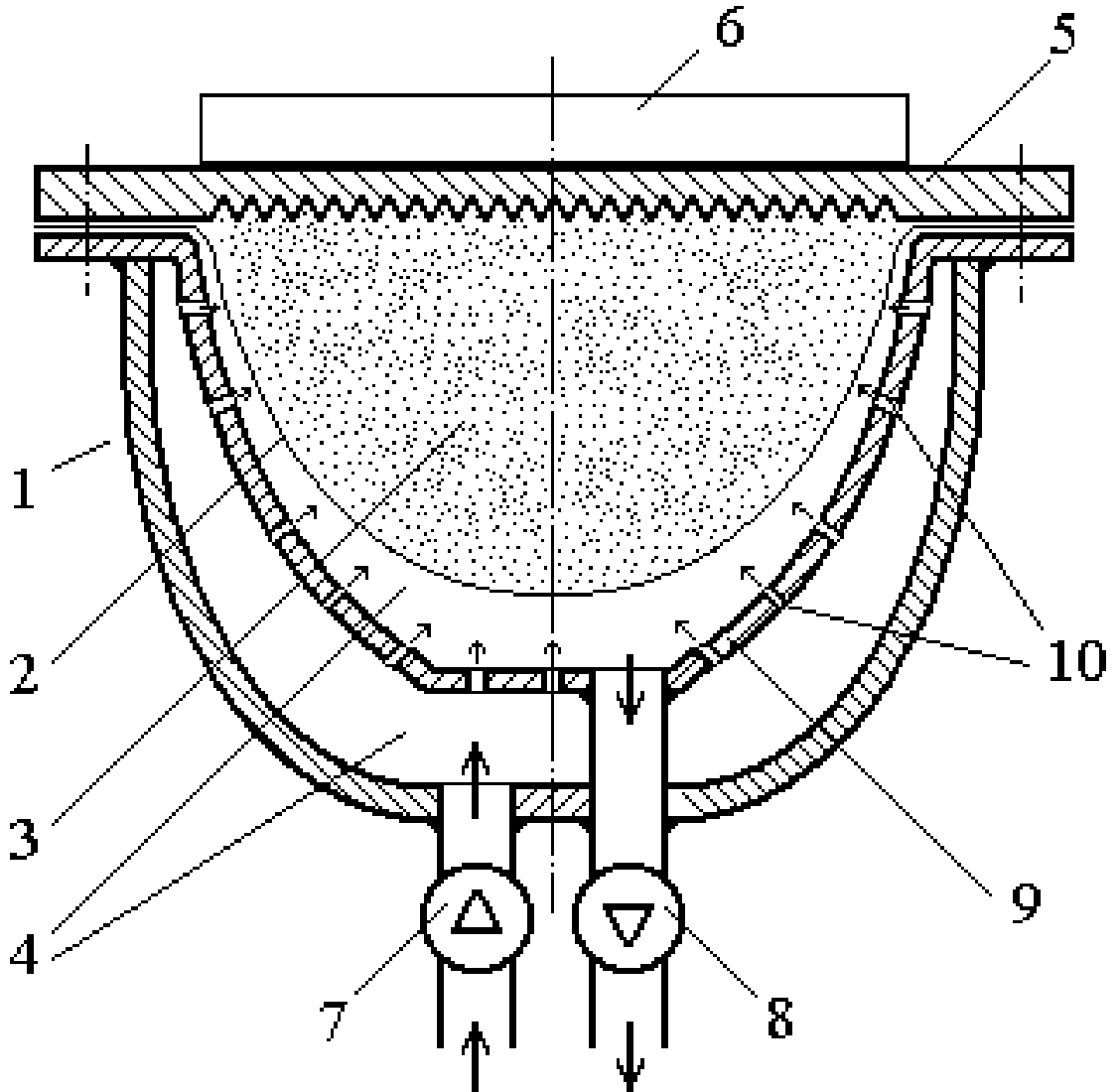
თავი 2. მზის ენერგიაზე მომუშავე თბურამპრავიანი მემბრანული ტუმბოს ახალი მოდიფიკაცია და მისი თერმო-ჰიდროდინამიკური მოდელი.

მოცემულ თავში მოყვანილია მზის ენერგიაზე აორთქლება – კონდენსაციის ციკლით მომუშავე წყლის სატუმბი სისტემის, თბურამპრავიანი მემბრანული ტუმბოს ახალი მოდიფიკაცია და მისი თერმო-ჰიდროდინამიკური მოდელი, დამუშავების არსებული გამოცდილების შესწავლა და მისი სუსტი მხარეების გამოვლენა, რაც საფუძვლად დაედო ახალი მოდიფიკაციის ტუმბოს შექმნისათვის საჭირო ღონისძიებების გატარებას.

2.1. თბურამპრავიანი მემბრანული ტუმბოს ახალი მოდიფიკაცია ტიხრით

დაგროვილი ექსპერიმენტული მონაცემების ანალიზის თანახმად მუშა სითხის აორთქლების პროცესის პარალელურად მიმდინარეობს ელასტიურ მემბრანასთან შეხებაში მყოფი ორთქლის ნაწილობრივი კონდენსაცია, რაც ამცირებს წნევას და შედეგად ტუმბოს ეფექტურობას. აქედან გამომდინარეობს დასკვნა, რომ აორთქლების პროცესი რაც შეიძლება სწრაფად უნდა მოხდეს და ამ დროს კონდენსაცია რაც შეიძლება დაბალი ინტენსივობით უნდა ხდებოდეს. აორთქლების დამთავრებისა და ამორთქლებელი ზედაპირის სრული გაშრობის შემდეგ კი პირიქით, კონდენსაცია რაც შეიძლება სწრაფად უნდა მიმდინარეობდეს რაც გაზრდის დროის ერთეულში შესრულებული ციკლების რაოდენობას და მაშასადამე ტუმბოს ეფექტურობას. აღნიშნული უარყოფითი მოვლენის გასანეიტრალებლად და ტუმბოს ხვედრითი წარმადობისა და მქკ-ს ამაღლების მიზნით, თბოგადაცემის კოეფიციენტის ამაღლებისათვის აორთქლების დამთავრებისა და ამორთქლებელი ზედაპირის სრული გაშრობის შემდგომი კონდენსაციისას, სამუშაოს პირველ ეტაპზე მუშა სხეულის კონდენსაციის ორსიჩქარიანი რეჟიმის უზრუნველსაყოფად

დაპროექტდა თბურამპრავიანი მემბრანული ტუმბოს ტიხრიანი მოდიფიკაცია [90].



ნახ. 13. თამტ-ს ტიხრიანი მოდიფიკაციის პრინციპული სქემა: 1 – მუშა საკანი; 2 – დრეკადი მემბრანა; 3 - ზედა კამერა; 4 – ქვედა კამერა; 5 – სახურავი; 6 – გამხურებელი; 7 – შემწოვი სარქველი; 8 – დამჭირხნი სარქველი; 9 – ტიხარი; 10 – ნახვრეტები.

თამტ-ს ტიხრიანი მოდიფიკაციის პრინციპული სქემა მოყვანილია ნახაზზე 13. წარმოდგენილი მოდიფიკაცია პირველისაგან განსხვავდება ქვედა კამერაში ნახვრეტებიანი ტიხრის ჩადგმით (შეწოვილი წყლის უშუალოდ ტიხარში შეყვანით) და დამჭირხნი სარქველის ჩართვის შეცვლილი სქემით. შედეგად, შეწოვილი ცივი წყალი მემბრანისაკენ ჭავლების სახით გაიტყორცნება, რაც კონდენსაციის პროცესს ამ სტადიაზე გაცილებით უფრო ინტენსიურს ხდის, ვიდრე დაჭირხვნის სტადიაზეა. შედეგად უნდა ამაღლდეს თამტ-ს ხვედრითი წარმადობა.

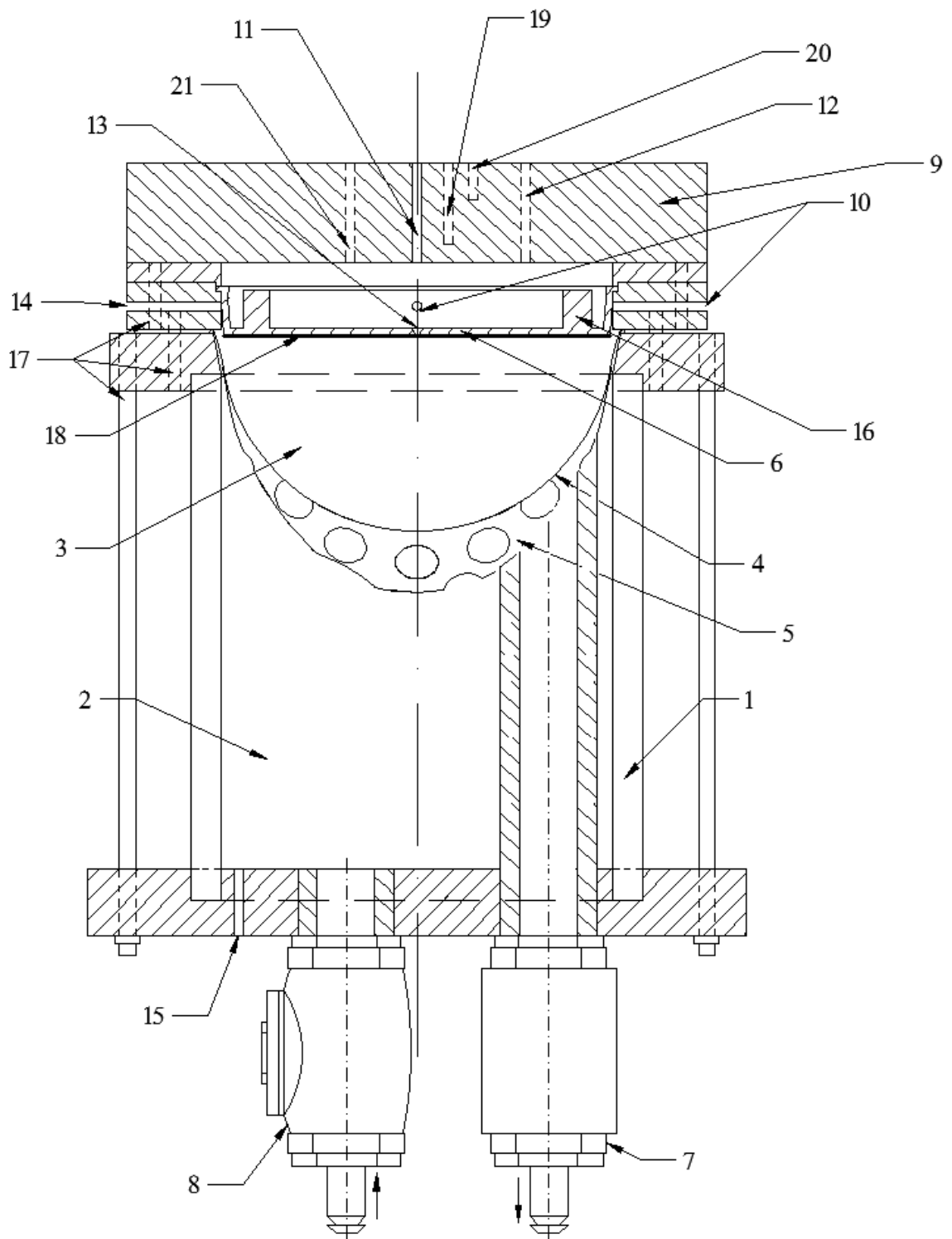
ტუმბო შეიცავს კორპუსს 1, ელასტიურ მემბრანას, 2 და ზედა 3 და ქვედა 4 ნაკვეთურებს. ზედა ნაკვეთურში 3 მოთავსებულია შუალედური აგენტის გარკვეული რაოდენობა. ზედა ნაკვეთურის 3 ხუფზე 5 მიერთებულია გამათბობელი 6, რომელიც წარმოადგენს ბრტყელ ჰელიო - კოლექტორთან მიერთებულ თბოგადამცემს. გადასატუმბი წყლით სავსე ქვედა ნაკვეთურზე 4 მიერთებულია სითხის შემწოვი 7 და დამჭირხნი 8 სარქველები. ქვედა ნაკვეთურში 4 განთავსებულია ტიხარი 9, რომელიც აღჭურვილია გამჭოლი ნახვრეტებით 10.

ტიხრიანი მოდიფიკაციის თამტ შემდეგნაირად ფუნქციონირებს: ტუმბოს გამათბობელს 6 მზის ბრტყელი ჰელიოკოლექტორიდან მიწოდება დაბალი ტემპერატურული პოტენციალის ($70 \leq 80$ °C) სითბო, შედეგად შუალედური აგენტის სითხის ფაზით დასველებულ ხუფის 5 ქვედა ზედაპირზე იწყება ამ აგენტის აორთქლება, რაც იწვევს წნევის აწევას და მემბრანის გაბერვას, ანუ ქვევით გადაადგილებას. შედეგად მცირდება ნაკვეთური 4-ის მოცულობა და მასში მოთავსებული წყალი დამჭირხნი სარქველის 7 გავლით გაიდევნება ტუმბოდან. მემბრანის 2 ქვევით მოძრაობის პროცესი მანამდე გრძელდება, სანამ ხუფის 5 ქვედა ზედაპირი მთლიანად არ გაშრება, რის შემდეგაც ხუფის 5 გაცივება პრაქტიკულად მთლიანად წყდება და მზის ენერგიით მოქმედი გამათბობლის 6 გავლენით იწყება მისი გადახურება. პარალელურად, მემბრანის 2 ქვედა ზედაპირთან შეხებაში მყოფი პრაქტიკულად ცივი გადასატუმბი წყლის ტემპერატურის გავლენით, მემბრანის 2 ზედა

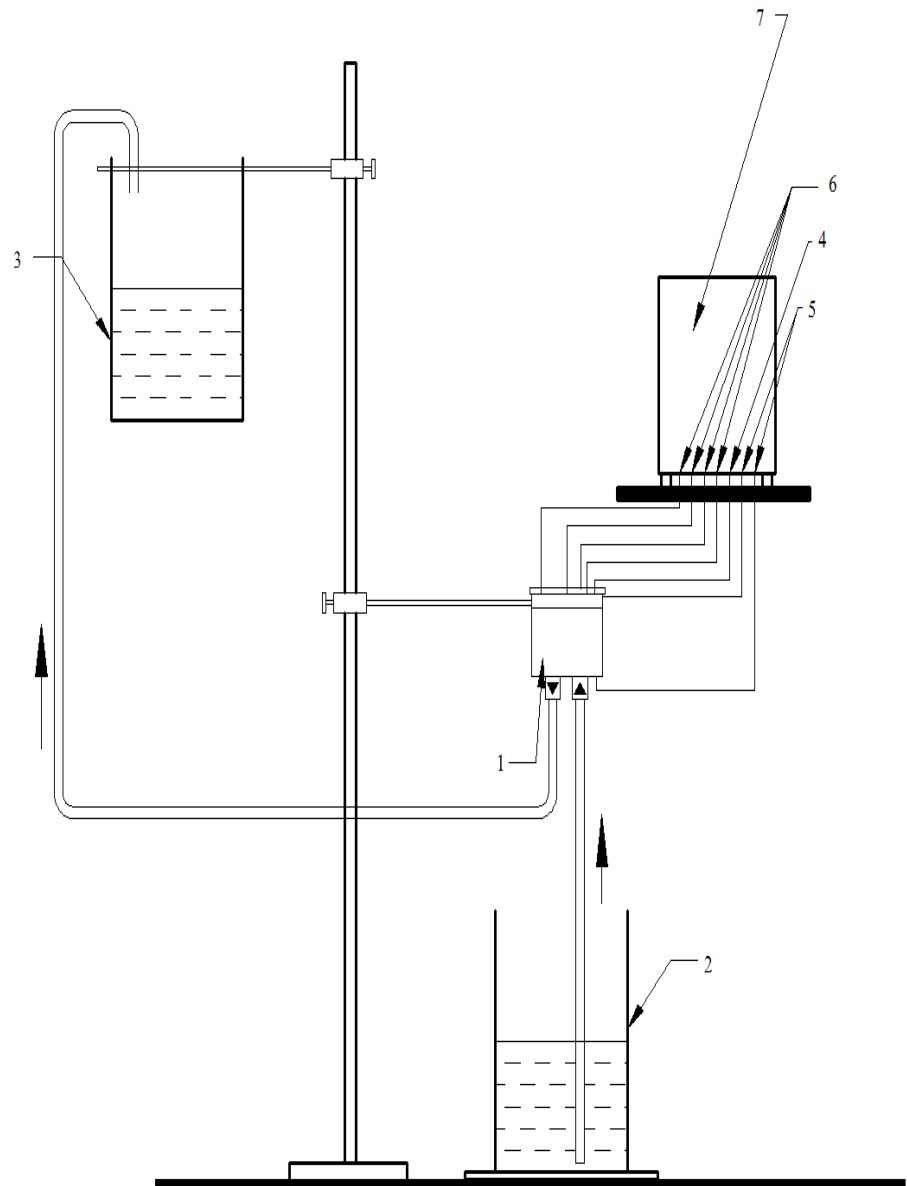
ზედაპირზე მიმდინარეობს შუალედური აგენტის ორთქლის კონდენსაციის პროცესი, რომელიც აორთქლების შეწყვეტის შემდეგ იწვევს წნევის დაცემას ნაკვეთურში 3. შედეგად მემბრანა 2 ზევით გადადგილდება და შემწოვი სარქვლის 8 და პერფორირებული ტიხარის 9 გავლით გადასატუმბი წყლის ახალი ულუფის შეწოვას უზრუნველყოფს. შესაბამისად, შუალედური აგენტის კონდენსაციის სტადიაზე სარქვლის 7 გავლით შეწოვილი შედარებით ცივი გადასატუმბი წყალი ხვდება კორპუსს 1 და ტიხარს 9 შორის და გამჭოლი ნახვრეტებით 10 ცივი ჭავლების სახით გაიტყორცნება დიაფრაგმისაკენ 2. სითხის ჭავლები უშუალოდ ეჯახებიან მემბრანას 2 და ქვედა ნაკვეთურის 4 ზედა ნაწილში სითხის ინტენსიურ შერევასაც იწვევენ. შედეგად მკვეთრად უმჯობესდება მემბრანის 2 გაცივება და მცირდება კონდენსაციის დრო. მემბრანის 2 გაცივების მრავალჭავლური რეჟიმის განხორციელება, ამაღლებს თბოგადაცემის კოეფიციენტს ორთქლის კონდენსაციის ეტაპზე. შედეგად შემცირდება მუშა ციკლის ხანგრძლივობა, იზრდება დროის ერთეულში შესრულებული ციკლების რიცხვი და ამდენჯერვე ამაღლდება ტუმბოს წარმადობა. ამგვარად, აორთქლება–კონდენსაციური მემბრანული ტუმბო იყენებს მემბრანას არა მარტო სითხის შეწოვისა და დაჭირხვნისათვის (რაც მემბრანის ჩვეულებრივი ფუნქციაა ნებისმიერი ტიპის მემბრანულ ტუმბოში), არამედ მუშა სხეულის ორთქლის კონდენსაციის ზედაპირად (რისთვისაც ჩვეულებრივად ცალკე კონდენსატორი გამოიყენება) და მიღებული თხევადი ფაზის აორთქლების ზედაპირზე დაბრუნების ინსტრუმენტად (ამ უკანასკნელისათვის სქემაში ჩვეულებრივად მკვებავ ტუმბოს ითვალისწინებენ). სწორედ ჩამოთვლილი გარემოებები განაპირობებენ განხილული ტიპის ტუმბოს განსაკუთრებულ სიმარტივეს და, შესაბამისად, პოტენციურ სიაფეს, რაც გარკვეულ პირობებში მას კონკურენტუნარიანს ხდის უფრო მაღალი მქკ-ს მქონე, მაგრამ გაცილებით უფრო რთული სატუმბი სისტემების მიმართ.

ზემოთ განხილული აორთქლება-კონდენსაციური ტიპის ტიხრიანი თამტ-ს ჩვენს მიერ შემუშავებული ექსპერიმენტული მოდელის კონსტრუქციული სქემის შესაბამისი ექსპერიმენტული მაკეტის სქემა წარმოდგენილია ნახ.14-ზე. მაკეტში სითბოს წყაროდ გვევლინება ხუფში 6 განთავსებული ელექტროგამხურებელი 16. თბომიმტანის გეომეტრია გარემოში სითბოს დანაკარგების მინიმიზაციის პირობას შეესაბამება. დამაგრების სისტემა 17 სარქვლებით 7 და 8 ისეა შესრულებული რომ საშუალებას იძლევა ადვილად გამოიცვალოს მემბრანა 4. მემბრანული ჰელიოტუმბოს შემოთავაზებულ კონსტრუქციაში მუშა სხეულის აორთქლების პროცესი ბადე 18 გადაჭიმულ ხურების ზედაპირზეა რეალიზებული. არხების 10 მეშვეობით წარმოებს ამორთქლებელ - საკონდენსაციო ნაკვეთურის ვაკუუმირება და მუშა სხეულით გამართვა. უშუალოდ აორთქლების ზედაპირის სიახლოვეში, ხუფი 6 განივ კვეთში შეიცავს ხურების ზედაპირის ტემპერატურის გასაზომი თერმოწყვილის ჩასამაგრებელ ადგილს 13. თბოიზოლაციაში 9 გათვალისწინებულია ხურების ზედაპირის ტემპერატურის გასაზომი თერმოწყვილის შესაყვანი არხი 11. ამას გარდა გათვალისწინებულია პარალელური ნახვრატები 12,19,20 თერმოწყვილების შესაყვანად. საცდელი ტუმბოს კორპუსი 1 წარმოადგენს გამჭვირვალე მინას. 2 წარმოადგენს გადასატუმბი სითხის არეს; 3 - ორფაზა მუშა სხეულის არეს; 21 - ელ. დენის სადენების არხი; 5-პერფორირებული ტიხარი; 14,15 - წნევის საზომი არხები.

ნახ.15-ზე წარმოდგენილია მემბრანული ტუმბოს მახასიათებლების დასადგენად ექსპერიმენტული სტენდის პრინციპული სქემა. აორთქლება-კონდენსაციური მემბრანული ტუმბოს მუშაობის გამოსაკვლევად ექსპერიმენტული სტენდი, გარდა ტუმბოს მაკეტისა 1, შეიცავს ტემპერატურისა და წნევის მართვისა და გაზომვის ხელსაწყოს 7, ტუმბოს გამახურებელს ელექტროკვების სისტემით 4, წნევის გამზომით 5, ტემპერატურის გამზომით 6.სტენდის ჰიდრავლიკურ სქემაში მაკეტის 1 და ტემპერატურისა და წნევის მართვისა და გაზომვის ხელსაწყოს 7 გარდა



ნახ.14. თბურამპრავიანი ტიხრიანი მემბრანული ტუმბოს საცდელი მოდელის
 ექსპერიმენტული მაკეტი



ნახ. 15. თბურამძრავიანი ტიხრიანი მემბრანული ტუმბოს საცდელი მოდელის ექსპერიმენტული სტენდი

შედის ორი, სხვადასხვა დონეზე განთავსებული ზედა და ქვედა საწყაო ჭურჭლები 2 და 3. ახალი მოდიფიკაციის ერთ-ერთი ძირითადი სიახლეა კონდენსაციის ორსიჩქარიანი რეჟიმის გამოყენება. რაც გულისხმობს თბოცვლის ორი მკვეთრად განსხვავებული რეჟიმის რეალიზაციას ტუმბოს მუშაობის ციკლში: ნელი კონდენსაცია დაჭირხვნის სტადიაზე და სწრაფი კონდენსაცია შეწოვის სტადიაზე. თბურამძრავიანი მემბრანული ტუმბოს ექსპერიმენტულ მაკეტზე მუშა სხეულის კონდენსაციის ასეთი რეჟიმის ჭავლური გაფრქვევით რეალიზაციის ვარიანტის ექსპერიმენტული კვლევის შედეგად დადგინდა, რომ ასეთ ვარიანტში მუშა სხეულის კონდენსაციის საჭირო ინტენსიურობის უზრუნველყოფა ჭავლების შექმნაზე დაწნევის შესამჩნევი წილის დაკარგვასთან არის დაკავშირებული. ჩატარებულმა წინასწარმა სამუშაოებმა გვიჩვენა რომ, წნევის დანაკარგები ჭავლების შექმნაზე შედარებით დაბალი დაწნევების (0.5 – 2.0 ბარი) შესადარისი აღმოჩნდება, რაც სამუშაოში დასმული საბოლოო ამოცანების შემთხვევაში მისაღები არ არის. ამასთან დაკავშირებით მიღებულ იქნა გადაწყვეტილება კონდენსაციის დაჩქარების მიზნით თხევადი დგუმის ხურების ზედაპირთან უშუალო კონტაქტში მოყვანისა და მემბრანის, დგუმის ქვემოთ გადანაცვლების შესახებ. რაც შეეხება თვით ტიხრიან მოდიფიკაციას, გადაწყდა მის შემდგომ დამუშავებას დავუბრუნდეთ მაღალ დაწნევებთან (5 - 10 ბარი) დაკავშირებული ამოცანების წამოჭრისას.

ასეთი გადაწყვეტილების კიდევ ერთი მნიშვნელოვანი საფუძველი პირელ შემთხვევაში მემბრანის მძიმე პირობებში მუშაობის და მისი მასალის შერჩევის სიძნელემ შეადგინა. მემბრანის ქვემოთ გადანაცვლების შემთხვევაში დიდად მარტივდება მისი შემჭიდროება და მკვეთრად უმჯობესდება ფუნქციონირების ტემპერატურული პირობები. შედეგად წამოიჭრა ტუმბოს კონსტრუქციული მოდიფიცირების ამოცანა.

2.2. თბურამპრავიანი მემბრანული ტუმბოს თხევადდგუშიანი

მოდულიკაცია

ენერგიის განახლებადი წყაროების, (მაგალითად, ბრტყელი ჰელიოკოლექტორის სითბოს ან დაბალი ტემპერატურული პოტენციალის სხვა ტიპის იაფი ან ნარჩენი სითბოს ბაზაზე), წყლის სატუმბი მოწყობილობის შექმნის პოტენციურად ეფექტური გადაწყვეტის კონტექსტში, ბოლო ათწლეულებში დამმუშავებელთა ყურადღება თხევად დგუშიანმა თბურამპრავიანმა მემბრანულმა ტუმბომ მიიპყრო [75,76,91,92].

რამდენადაც ახალ მოდიფიკაციაში ტუმბოს მთავარ კვანძს (ამპრავს) სპეციფიური ტიპის თბური ძრავა (თხევად დგუშიანი ორთქლის მანქანა) წარმოადგენს, ამ კვანძის დახვეწა და ფუნქციონირების კანონზომიერებების თეორიული და ექსპერიმენტული კვლევა ერთ-ერთ უმნიშვნელოვანეს ეტაპს წარმოადგენს თამტ-ს ეფექტური კონსტრუქციის შექმნის გზაზე [86,87,88].

ახალ მოდიფიკაციაში მუშა სხეულის ორთქლის ფაზის კონდენსაციის ორსიჩქარიანი რეჟიმის ჭავლური გაფრქვევით რეალიზაცია ხორციელდება თხევადი დგუშის ზედაპირზე, სადაც ცივი სითხე უშუალოდ მიეწოდება. მემბრანამ გადაინაცვლა ტუმბოს ქვედა დონეზე, გადასატუმბი სითხის შეწოვისა და დაჭირხვნის უცვლელი ფუნქციით. ექსპერიმენტულ მაკეტზე ჩატარდა კონდენსაციის ორსიჩქარიანი რეჟიმის ჭავლური გაფრქვევით რეალიზაციის ახალი ვარიანტის ექსპერიმენტული გამოკვლევა. გაზომილ იქნა აორთქლება-კონდენსაციის ციკლის პარამეტრები: ციკლის დამახასიათებელი დროები, თხევადი დგუშის გადაადგილების ზღვრები, ამორთქლებელი ზედაპირის ტემპერატურული პულსაციები. როგორც კვლევის შედეგებმა აჩვენა, ჩატარებულმა კონსტრუქციულმა მოდიფიკაციამ კონდენსაციის ინტენსიურობის საჭირო დონის მიღწევის საშუალება მოგვცა.

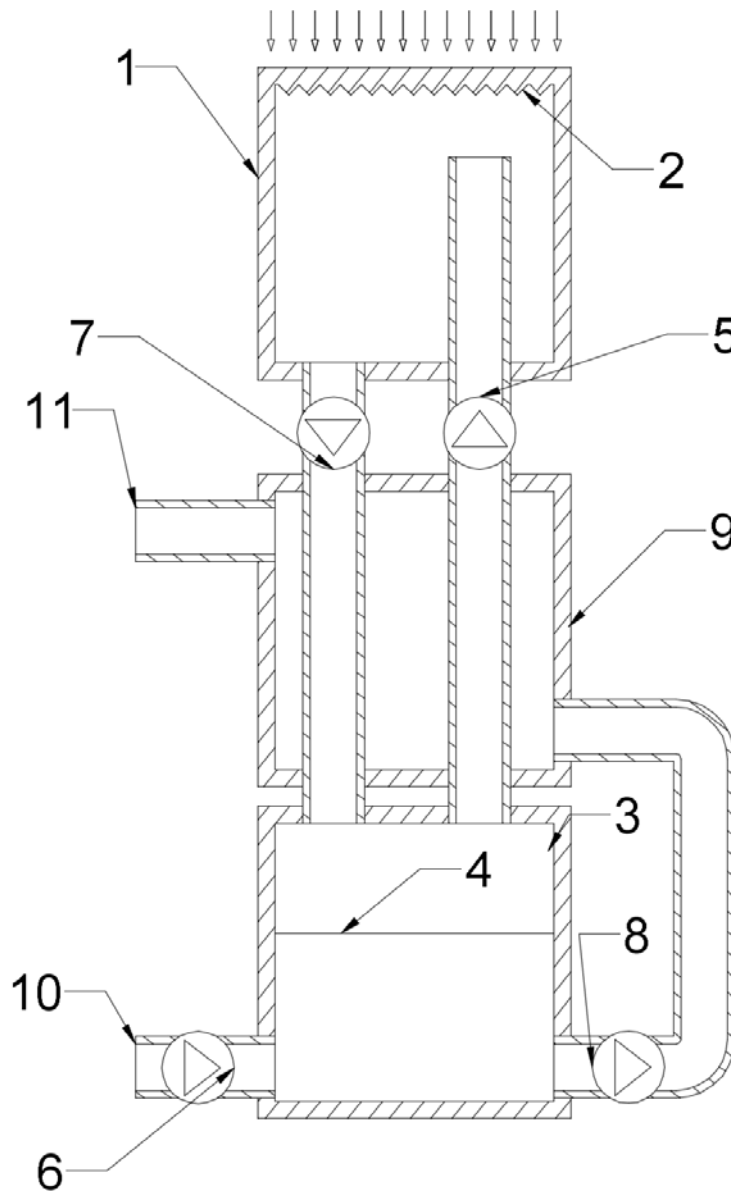
თამტ-ს თხევადდგუშიანი მოდიფიკაციის პრინციპული სქემა მოყვანილია ნახაზზე 16. გახურების შედეგად ტემპერატურის გარკვეული

დონის მიღწევისას ზედაპირზე 2 იწყება აორთქლების პროცესი, რაც წყვეტს ამ ზედაპირს შუალედური მუშა აგენტის თხევად დგუმს და გადაადგილებს მას ზემოდან ქვემოთ. სითხე სარქველის 7 გავლით ჩადის სატუმბ საკანში 3, ჩაზნექს მემბრანას 4 და სარქველის 8 გავლით დაჭირხნის წყალს ჰელიოკოლექტორის სისტემაში. მას შემდეგ, რაც კაპილარული ზედაპირით 2 შენარჩუნებული სითხე მთლიანად აორთქლდება, ხოლო თხევადი დგუმის ზედაპირზე ორთქლის კონდენსაცია გაგრძელდება, საკანში 1 ორთქლის წნევა დაეცემა, მოხდება სითხის შეწოვა ქვემოდან ზემოთ სარქველის 5 გავლით. მემბრანა 4 ამოიზნიქება, სარქველის 6 გავლით შეიწოვს წყლის ახალ ულუფას, თბომცვლელში 9 გაცივებული აღმავალი თხევადი დგუმი შეეჯახება სიმშრალის პერიოდში გადახურებულ ზედაპირს 2 და აღწერილი ციკლი კვლავ გამეორდება (წყლის გადატუმბვის შესაბამისი ეფექტით) და, ასე შემდეგ, სანამ ტუმბოს სითბო მიეწოდება.

აქ უნდა აღინიშნოს, რომ უკუსვლისას გაცივებული მუშა აგენტის თხევადი ფაზის მიწოდება სარქველით 5 პირდაპირ თხევადი დგუმის ზედა ნაწილში, წინა სვლასთან შედარებით, მკვეთრად აჩქარებს კონდენსაციას წყლის შეწოვის სტადიაზე და ამალეებს ტუმბოს წარმადობას და ეფექტურობას. რაშიც გამოიხატება სწორედ ორთქლის კონდენსაციის ორსიჩქარიანი რეჟიმის მნიშვნელობა.

როგორც ნახაზიდან ჩანს კონდენსაციის დაჩქარება და მემბრანის ფუნქციონირების პრობემის გაუმჯობესება მთლიანობაში თამტ-ს კონსტრუქციის გართულების ხარჯზე იქნა მიღწეული: გაჩნდა განცალკევებული ორი კამერა და ორის მაგივრად ოთხი სარქველი. მიუხედავად ამისა, ასეთი კომპრომისი გაამართლებული იქნება, თუ დასახულ გაუმჯობესებათა ეფექტური რეალიზაცია იქნება მიღწეული.

ნახ.17-ზე წარმოდგენილია ბრტყელ ჰელიოკოლექტორზე დაფუძნებულ ცხელი წყლის მომარაგების სისტემაში თამტ-ს თხევადდგუმიანი მოდიფიკაციის ინტეგრირების პრინციპული სქემა.



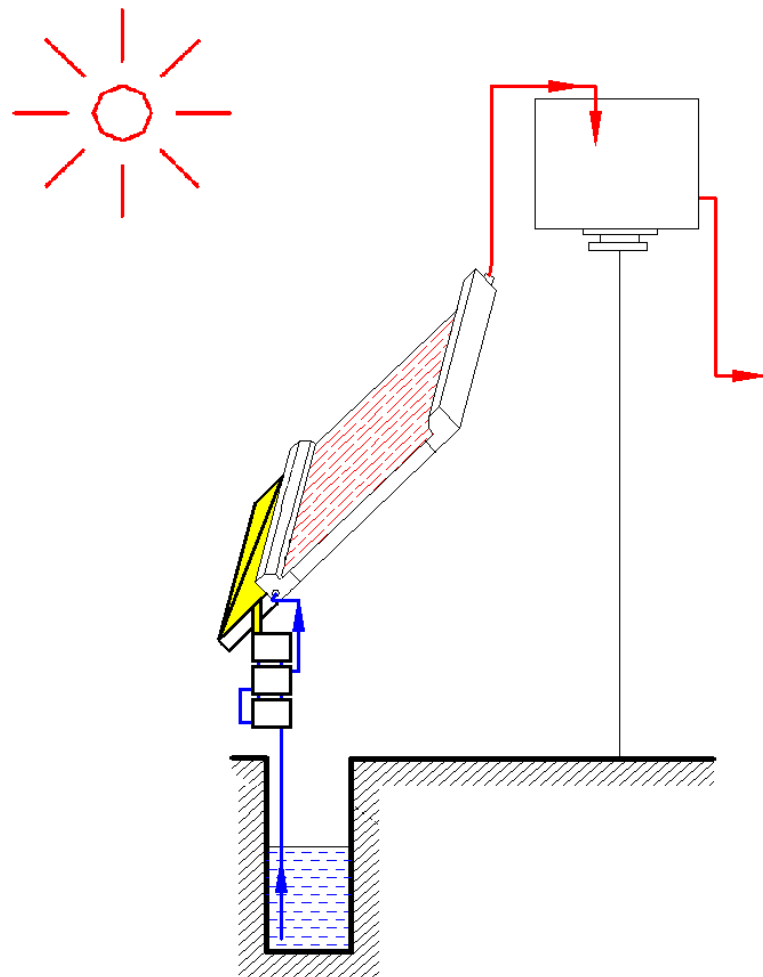
ნახ. 16. თამბ-ს თხევადდგუშიანი მოდიფიკაციის პრინციპული სქემა: 1 - ზედა კამერა; 2 - ხურების კაპილარული ზედაპირი; 3 - ქვედა კამერა; 4 - დრეკადი მემბრანა; 5, 6 - შემწოვი სარქველები; 7, 8 - დამჭირხნი სარქველები; 9 - თბომცვლელი; 10 - 11 - მიმღები და მიმწოდებელი მილტუჩები.

როგორც სქემიდან ჩანს, თამტ-სა და ჰელიოკოლექტორის შეთანწყობის ძირითადი უპირატესობა ამ შემთხვევაშიც არის შენარჩუნებული: ჭიდან ამოტუმბული წყალი ჰელიოკოლექტორში თამტ-ში შეთბობის შემდეგ ხვდება და თითქმის მთლიანად აბრუნებს კოლექტორში თამტ-ს მუშაობისათვის ართმეულ სითბოს.

თამტ-ს გამოყენების პირველ ობიექტად შერჩეულია ერთეულ ბრტყელ ჰელიოკოლექტორზე დაფუძნებული ცხელი წყლის მომარაგების ავტონომიური სისტემა. ასეთ არჩევანს ორი გარემოება განაპირობებს: პირველი მათგანია წყლის საჭირო ხარჯის სიმცირე (დაახლოებით 20 ლიტრი საათში), რაც ამსუბუქებს ასეთი პროექტის რეალიზაციის ტექნიკურ, ფინანსურ და მატერიალურ ასპექტებს; მსგავსი სიმბიოზის პირობებში მეორე და უმნიშვნელოვანესი მომენტია თამტ-ს ჰელიოკოლექტორის სითბოს ხარჯზე მუშაობა, ართმეული სითბოს თითქმის მთლიანად ცხელი წყლის სისტემაში დაბრუნებით. შედეგად თბური ენერჯის საკუთრივ ტუმბოს მუშაობისათვის დანახარჯების ფაქტიურად მთლიანი გამორიცხვა, რამდენჯერმე აიაფებს წყლის გადატუმბვის ხარჯებს. ერთდროულად კრიტიკულ მნიშვნელობას კარგავს ტუმბოს მქვ-ს დონე.

მოცემულ კონკრეტულ გამოყენებაში, თუ თამტ-ს გამოყენებით იგი სათანადოდ იქნება რეალიზებული, ფოტოელექტრული სატუმბო სისტემა კონკურენტუნარიანი ვეღარ იქნება, რადგან ელექტროტუმბოს ფუნქციონირებისათვის მისი, ელექტროენერჯის ძვირადღირებული წყაროთი დაკომპლექტება არის საჭირო.

თამტ-ს შემდგომი გამოყენება შეიძლება გახდეს სტაციონარული დიზელის დანადგარის გაცივების სიტემის ტუმბოს ჩანაცვლება, ცირკულაციის გამონაბოლქვი აირების სითბოს ხარჯზე განხორციელებით (ისევ მომსახურების ობიექტთან სიმბიოზით და ამ ობიექტის უფასო ნარჩენი სითბოს გამოყენებით). ამისათვის საჭირო იქნება მაღალი წარმადობის ტუმბოს შექმნა.



ნახ. 17. თამბ-ს თხევადდგუმიანი მოდიფიკაციის ინტეგრირება ბრტყელ ჰელიოკოლექტორზე დაფუნებული ცხელი წყლის მომარაგების სისტემაში

შედეგად დიზელის დანადგარის მიერ გამომუშავებული ძვირფასი მექანიკური ენერგიის ნაწილი საკუთარი გაცივების სისტემის ტუმბოს ენერგომომარაგებაზე აღარ დაიხარჯება და მისი ტექნიკური და ეკონომიკური ეფექტიანობა საგრძნობლად გაუმჯობესდება.

ვფიქრობთ, მხოლოდ ამის შემდეგ, თანაც, თუ დამუშავებათა პროცესში ტუმბოს მქკ-ს სერიოზული ამაღლება იქნება მიღწეული, შეიძლება დღის წესრიგში დადგეს ფოტოელექტრულ სატუმბ სისტემებთან უფრო ფართო სპექტრში კონკურენციის ამოცანა.

ამასთან, იმ მნიშვნელოვან გარემოებასაც უნდა გაესვას ხაზი, რომ თამტ-ს დამუშავების მიზანშეწონილობისათვის ჩამოთვლილი პოტენციალური ამოცანებიდან მხოლოდ პირველის ეფექტური რეალიზაცია არის საკმარისი.

2.3. თბურამძრავიანი მემბრანული ტუმბოს რეალური თერმოდინამიკური ციკლის ანალიზისა და კომპიუტერული მოდელირების შედეგები

აორთქლება–კონდენსაციის ციკლით მომუშავე თბურამძრავიანი მემბრანული ტუმბოს კონსტრუქციული დახვეწის გზაზე შესასრულებელი მთავარი ამოცანა უპირველესად მასში მიმდინარე თერმო-ჰიდროდინამიკური პროცესების გამოკვლევაა. ტუმბოში მიმდინარე თერმო-ჰიდროდინამიკური პროცესების სწორი ხედვა უკვე შემდეგ საფუძვლად უნდა დაედოს ახალ გადაწყვეტილებებს ეფექტურობისა და საიმედოობის ამაღლების კონსტრუქციული უზრუნველყოფისათვის.

ქვემოთ წარმოდგენილია თამტ-ს დაზუსტებული თერმოდინამიკური ციკლის ანალიზი, მარგი ქმედების კოეფიციენტის (მქკ) საანგარიშო განატოლება და კომპიუტერული მოდელირების შედეგები.

თბურამძრავიანი მემბრანული ტუმბოს პულსაციურ განაკვეთში რეალიზებული ციკლის თავისებურებანი დაკავშირებულია ერთ

მოცულობაში [93] ციკლის შემადგენელი ყველა პროცესის განხორციელებასთან. თამტ-ს ციკლის მეორე მნიშვნელოვანი თავისებურება - მისი ენერგეტიკული ეფექტურობის აპრიორული დამაქვეითებელი, დაკავშირებულია აორთქლებისა და კონდენსაციის პროცესების ერთდროულ მიმდინარეობასთან დროის გარკვეულ ინტერვალში და მისი თავიდან არიდების პრინციპული შეუძლებლობაა. დროის ამ ინტერვალში სითბოს ნაწილი იკარგება მუშაობის შესრულების გარეშე. ამ უკანასკნელი უარყოფითი თავისებურების მიხედვით ორთქლის მანქანების ცნობილ თერმოდინამიკურ ციკლებს შორის თბურამძრავიანი მემბრანული ტუმბოს ციკლს ანალოგი არა აქვს. ბუნებრივია მნიშვნელოვანი ხდება მითითებული "დაკარგული" სითბოს ნაწილის განსაზღვრა, და ამ ფაქტორის რაოდენობრივი გავლენა თერმოდინამიკური ციკლის საერთო თერმულ მქვ-ზე.

თამტ-ს პულსაციური საკნის თერმოდინამიკური ციკლი (როგორც იდეალური, ასევე რეალური) განხილული იყო სამუშაოში [91].

ქვემოთ ჩვენ ხელახლა განვიხილავთ პულსაციური საკნის რეალურ თერმოდინამიკურ ციკლს მნიშვნელოვანი დაზუსტებით, რომელიც გადახურებულ აორთქლების ზედაპირზე შედარებით ცივი სითხის დგუშის დაჯახების შემდგომ განვითარებული თერმო-ჰიდროდინამიკური პროცესის აქამდე გაუთვალისწინებელ თავისებურებებს უკავშირდება. მხედველობაში გვაქვს ორფაზა არეს შესაძლო სტრუქტურა გადახურებულ კედელსა და მასაში გადაცივებულ (გაჯერების ტემპერატურის მიმართ) სითხეს შორის.

დავიწყოთ თამტ-ს პულსაციური საკნის იდეალური თერმოდინამიკური ციკლის მოკლე აღწერით. თბურამძრავიანი მემბრანული ტუმბოს პულსაციური ნაკვეთურის იდეალიზებული ციკლი იგება რიგი გამარტივებული დაშვებების საფუძველზე. გარდა მსგავსი ანალიზისათვის ჩვეულებრივი დაშვებებისა (მაგალითად კვაზიწონასწორობა და ციკლის ცალკეული პროცესების შექცევადობა), იდეალიზირებული ციკლის შემთხვევაში ჩვენ ყურადღებას არ ვაქცევთ

ნაწილობრივ ზედდართვებს აორთქლებისა და კონდენსაციის პროცესების დროებში. მსგავსი დაშვება ფიზიკური თვალსაზრისით მართებული არის მხოლოდ აორთქლებისა და კონდენსაციის ზედდართვის მცირე ხანგრძლიობის დროითი ინტერვალის მიღწევისას (ერთი ციკლის ხანგრძლიობის ჯამურ დროსთან შედარებით). ასეთი თანაფარდობის მიღწევა არის მნიშვნელოვანი ამოცანა თამტ-ს ენერგეტიკული ეფექტურობის გაზრდის გზაზე. გარდა ამისა იდეალიზირებული ციკლის ანალიზის რეზულტატების არსებობა აღნიშნული ეფექტის გათვალისწინების გარეშე, შემდგომში სწორედაც რომ საფუძველი ხდება ზემოთ აღნიშნული არსებითად უარყოფითი გავლენის როლის განსაზღვრისა ციკლის ეფექტურობაზე, სითხის დაჭირხვნის ეტაპზე (იზობარულ-იზოთერმული გაფართოების პროცესში). თამტ-ს პულსაციური საკნის იდეალური თერმოდინამიკური ციკლი წარმოდგენილია P-V და T-S კოორდინატებში (ნახ.18). 1-2 პროცესი ციკლის მინიმალური წნევის (P_{min}) პირობებში მიმდინარეობს. მუშა აგენტის შედარებით ცივი თხევადი ფაზა (თხევადი დგუშის ზედაპირი) კონტაქტში შედის მანამდე გამშრალ და ამიტომ გადახურებულ ზედაპირთან, იწყება სითხის იზოქორული გახურება გაჯერების წნევისა და ტემპერატურის ზრდით. პროცესი თავდება წერტილში 2, წნევა აღწევს ციკლის მაქსიმუმს P_{max} და ხსნის დამჭირხნი სარქველს. ითვლება, რომ იდეალიზირებულ ციკლში 1-2 პროცესი მთლიანად სითხის ფაზაში მიდის (ნულოვანი ორთქლშემცველობით), გაჯერების მრუდის გასწვრივ, მუშა სხეულისათვის სითბოს მიწოდებით.

2-3 პროცესში ხდება სითბოს იზობარულ-იზოთერმული მიწოდება. მუშა სხეული (თხევადი დგუშის მცირე ზედა ნაწილი) ორთქლდება და სითხის ზედაპირი გადაადგილდება ზემოდან ქვემოთ. სრულდება გაფართოების მუშაობა და სითხე მიეწოდება დამჭირხნი სარქველის გავლით. ითვლება, რომ იდეალიზირებულ ციკლში 2-3 პროცესის დროს ორთქლის კონდენსაციას ადგილი არ აქვს და პროცესის ბოლოს ორთქლი მშრალ გაჯერებულ მდგომარეობაშია P_{max} წნევის ქვეშ.

პროცესი მთავრდება ხურების ზედაპირზე წინა პროცესში მოხვედრილი სითხის მასის სრული აორთქლებით, რის შემდეგაც ზედაპირი შრება და მისი გადახურება იწყება. აქედან ცხადი ხდება ხურების ზედაპირზე მოხვედრილი და შერჩენილი სითხის მასის პარამეტრული როლი.

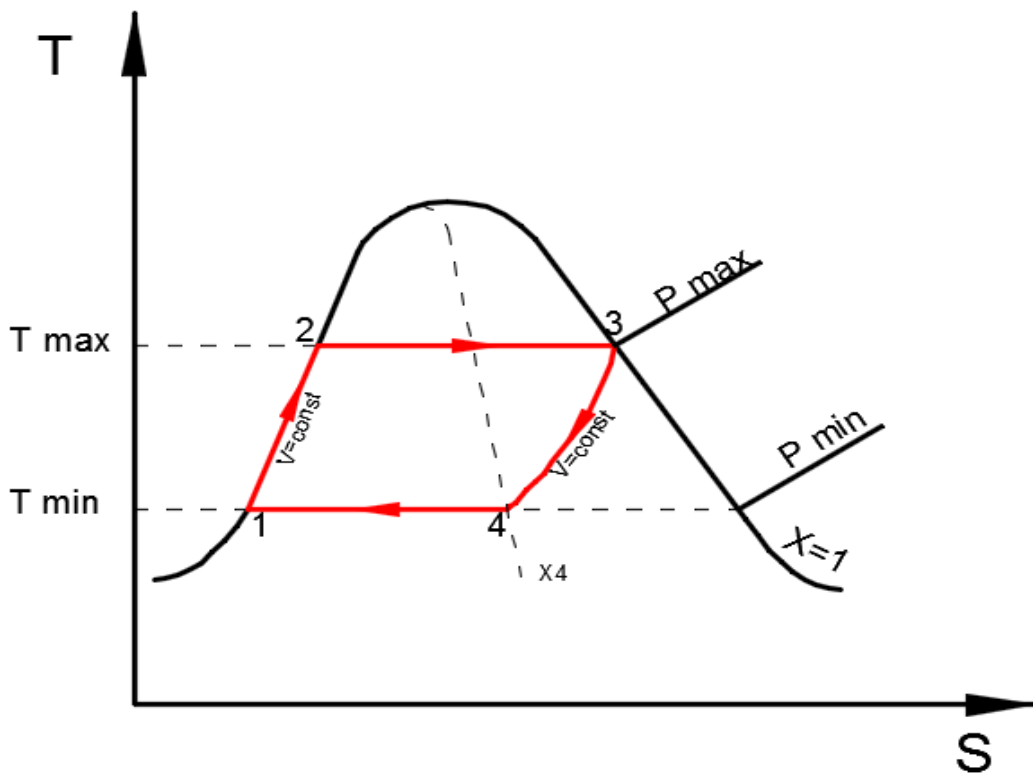
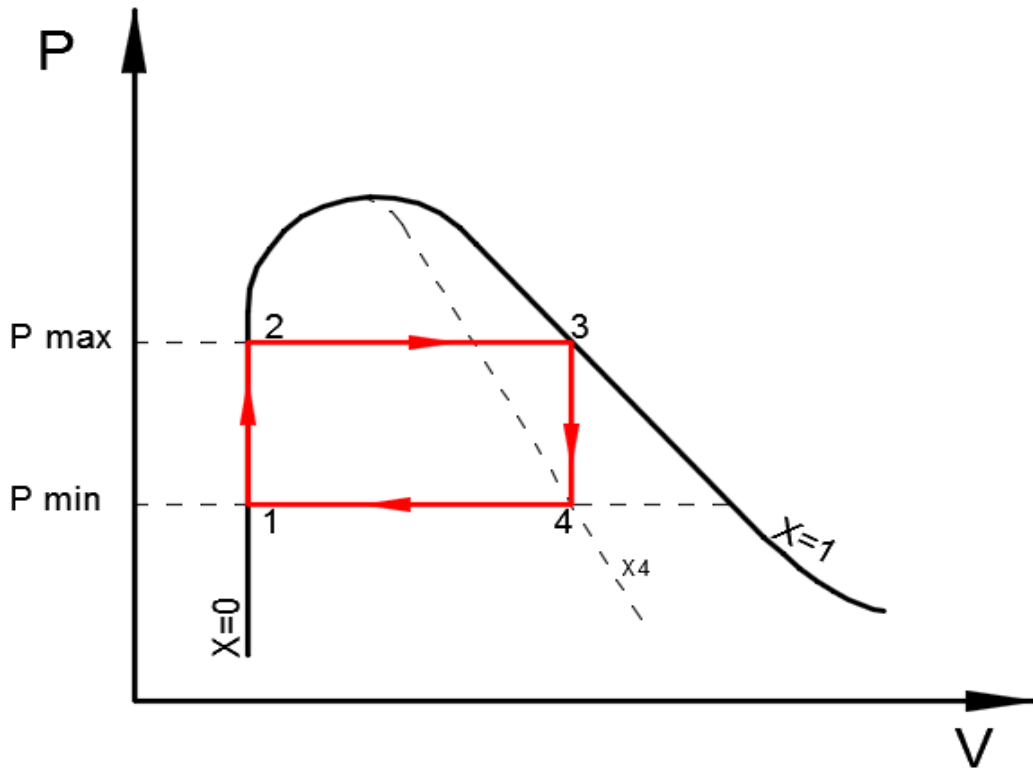
3-4 პროცესში ხდება მუშა სხეულის ორთქლის ნაწილობრივი კონდენსაცია მუდმივი მოცულობის პირობებში. პრაქტიკულად ეს არის მეტად ხანმოკლე პროცესი, როცა, ერთის მხრივ, გამშრალი ხურების ზედაპირზე ორთქლის გენერაციის შეწყვეტის გამო, და მეორეს მხრივ, დგუმის ზედაპირზე ორთქლის კონდენსაციის გამო, გაჯერების წნევა სწრაფად ეცემა P_{max} - დან P_{min} - მდე. დამჭირხნი სარქველი იკეტება და იღება შემწოვი სარქველი. ითვლება, რომ პროცესის ბოლოს ორთქლი გარკვეული ტენიანობით ხასიათდება. პროცესი ადიაბატურად მიიჩნევა, რაც ნიშნავს გამშრალი ხურების ზედაპირიდან სითბოს მოდენის უმნიშვნელო როლს საერთო თბურ ბალანსში.

4-1 პროცესში ხდება მუშა სხეულის ორთქლის სრული კონდენსაცია სითბოს იზობარულ-იზოთერმული ართმევით P_{min} -ის პირობებში. გამშრალი ხურების ზედაპირიდან სითბოს მოდენის როლს ამ შემთხვევაშიც ვუგულველვყოფთ. კონდენსაციის შედეგად თხევადი დგუმი ხურების ზედაპირისაკენ გადაადგილდება, მიდის სითხის შეწოვა შემწოვი სარქველიდან. პროცესის ბოლოს დგუმის ზედაპირი ეჯახება ხურების ზედაპირს და ციკლი სრულდება და სისტემა კვლავ ზემოდ აღწერილ საწყის მდგომარეობაში აღმოჩნდება.

სამუშაოში [76] ჩატარებული ანალიზის თანახმად, თამბ-ს იდეალიზირებული თერმოდინამიკული ციკლის მეკ მუშა სხეულის ერთეული მასისათვის განისაზღვრება ცნობილი დამოკიდებულებით:

$$\eta = \frac{(q_1 - q_2)}{q_1} \quad (2-1)$$

სადაც q_1 მიწოდებული სითბოა, q_2 - ართმეული.



ნახ.18. თამბტ-ს პულსაციური საცნის იდეალური თერმოდინამიკური ციკლი P-V და TS კოორდინატებში

მიწოდებული სითბო q_1 წარმოადგენს სითბოთა ჯამს, მიწოდებულს იზოქორულ 1-2 პროცესში q_1' და იზობარულ-იზოთერმულ 2-3 პროცესში q_1'' . შესაბამისად:

$$q_1 = q_1' + q_1'' \quad (2-2)$$

ანალოგიურად ართმეული სითბოსთვის გვექნება

$$q_2 = q_2' + q_2'' \quad (2-3)$$

იზოქორული გახურების პროცესში მიწოდებული გახურების სითბო შეიძლება ვიანგარიშოთ შემდეგნაირად

$$q_1' = u_2 - u_1 \quad (2-4)$$

სადაც u_2 და u_1 შესაბამისად წარმოადგენენ მუშა სხეულის შიგა ენერგიას პროცესის დასაწყისისა და დასასრულის დროს. იზობარულ-იზოთერმული აორთქლების პროცესში მიწოდებული სითბო გამოითვლება, როგორც სხვაობა ენთალპიისა 2-3 პროცესის თავსა და ბოლოში :

$$q_1'' = h_3 - h_2 \quad (2-5)$$

(2-2) ტოლობაში შეტანის შემდეგ მივიღებთ:

$$q_1 = (u_2 - u_1) + (h_3 - h_2) \quad (2-6)$$

ტოლობა (2-6) გარდავექმნათ პარამეტრების შემდეგი დაჯგუფებით:

$$q_1 = (h_3 - u_1) - (h_2 - u_2) \quad (2-7)$$

ცნობილი დამოკიდებულებების გათვალისწინებით $u = h - P v$

ტოლობა (2-7) მიიღებს შემდეგ სახეს:

$$q_1 = (h_3 - h_1 + P_1 v_1) - P_2 v_2 \quad (2-8)$$

რადგანაც ჩვენს შემთხვევაში $v_1 = v_2$, $P_1 = P_{min}$, $P_2 = P_{max}$ ტოლობა მიწოდებული სითბოსთვის (2-8) შეიძლება გარდავექმნათ შემდეგი კომპაქტური სახით:

$$q_1 = (h_3 - h_1) - v_1 \Delta P \quad (2-9)$$

სადაც $\Delta P = P_{max} - P_{min}$.

იზოქორული გაგრილების 3-4 პროცესში, რომელიც მიმდინარეობს ორთქლის ნაწილობრივი კონდენსაციის თანხლებით, ართმეული სითბო

ასევე შეიძლება გამოითვალოს შინაგანი ენერგიების მნიშვნელობებით პროცესის თავსა და ბოლოში:

$$q_2' = (u_3 - u_4) \quad (2-10)$$

იზობარულ-იზოთერმული გაგრილების პროცესში, რომელიც მოიცავს მუშა სხეულის ორთქლის კონდენსაციის ძირითად ნაწილს (გადასატუმბი გარემოს შეწოვის სტადია) გამოყოფილი სითბო, ისევე როგორც იზობარულ-იზოთერმული გახურების პროცესში, შეიძლება გამოთვლილი იქნეს პროცესის დასაწყისისა და დასრულების ენთალპიების მნიშვნელობების მიხედვით:

$$q_2'' = h_4 - h_1 \quad (2-11)$$

(2-10) და (2-11) დამოკიდებულებების გათვალისწინებით ტოლობა (2-3) ართმეული სითბოსათვის მიიღებს სახეს:

$$q_2 = (u_3 - u_4) + (h_4 - h_1) \quad (2-12)$$

აქედან :

$$q_2 = (h_3 - h_1) - (P_3 v_3 - P_4 v_4) \quad (2-14)$$

რადგან განხილულ შემთხვევაში $v_3 = v_4$, $P_3 = P_{max}$ და $P_4 = P_{min}$, q_2 მიიღებს სახეს:

$$q_2 = (h_3 - h_1) - v_3 \Delta P \quad (2-15)$$

(2-9) და (2-15) ის ჩასმით მარგი ქმედების პირველ ტოლობაში მივირებთ:

$$\eta = \frac{(h_3 - h_1) - v_1 \Delta P - (h_3 - h_1) + v_3 \Delta P}{(h_3 - h_1) - v_1 \Delta P} \quad (2-16)$$

რომელიც მარტვი გარდაქმნებით მიიღებს სახეს:

$$\eta = \frac{(v_3 - v_1) \Delta P}{(h_3 - h_1) - v_1 \Delta P} \quad (2-17)$$

ტოლობა (2-17) შეიძლება უფრო გამარტივდეს თუ გავითვალისწინებთ, რომ განხილულ შემთხვევაში $v_1 \Delta P$, $v_3 \Delta P$ -სთან შედარებით ან $(h_3 - h_1)$ სხვაობასთან შედარებით არის მცირე სიდიდე

(განსაკუთრებით მუშა სხეულის დაბალი წნევების დროს). შესაბამისად მქც-სთვის მივიღებთ :

$$\eta = \frac{v_3 \Delta P}{h_3 - h_1} \quad (2-18)$$

აქ v_3 არის ორთქლის კუთრი მოცულობა ციკლის წერტილ 3-ში; $\Delta P = P_{max} - P_{min}$ - ციკლის მიმდინარეობისას მუშა აგენტის მაქსიმალურ და მინიმალურ წნევებს შორის სხვაობაა; h_3 და h_1 – ორთქლის ენთალპია, შესაბამისად, ციკლის წერტილებში 3 და 1.

სამუშაოში [76] გაანალიზებულია აგრეთვე თამბ-ს რეალური თერმოდინამიკული ციკლი, ხურების ზედაპირზე გენერირებული ორთქლის ნაწილის უკვე დაჭირხვნის სტადიის დამთავრებამდე, ანუ გაფართოების მუშაობის შესრულების გარეშე კონდენსაციის გათვალისწინებით. მართალია, თუ დაჭირხვნის სტადია შედარებით ხანმოკლეა, ასეთი “პარაზიტული” კონდენსაციის გავლენა მინიმალურია, თუმცა მაინც გაანალიზებას მოითხოვს.

თბურამძრავიანი მემბრანული ტუმბოს რეალური ციკლის საანგარიშოდ ჩატარებულ ანალიზში უნდა იქნეს შეტანილი შესწორებანი, რომლებიც ითვალისწინებენ ამ ციკლის ძირითად გადახრებს იდეალური სქემიდან. ზემოთ ჩვენ თუმც ვუშვებდით, რომ აორთქლების პროცესი მიმდინარეობს კონდენსაციის პროცესზე გაცილებით სწრაფად, უკანასკნელის ნაწილობრივი მიმდინარეობა აორთქლების თანადროულად, მაინც შესამჩნევად ამცირებს თბურამძრავიანი მემბრანული ტუმბოს ციკლის ეფექტურობას. მსგავსი შემცირება დაკავშირებულია სითბოს იმ ნაწილის შესატყვის სისტემის გამჭოლ შეუქცევად ნაკადთან, რომელიც არ ასრულებს გაფართოების მუშაობას.

თბურამძრავიანი მემბრანული ტუმბოს რეალური თერმოდინამიკური ციკლი, რომელიც ასახავს აორთქლებისა და კონდენსაციის პროცესების ზედდართვას, ანუ ხურების ზედაპირზე გენერირებული ორთქლის ნაწილის გაფართოების მუშაობის შესრულების გარეშე, დაჭირხვნის სტადიის დამთავრებამდე

კონდენსაციას, გამოსახულია ნახ.19-ზე, P-V და T-S კოორდინატებში. როგორც ნახაზიდან ჩანს, ნაწილობრივი ზედდართვა ორი პროცესისა პოულობს ასახვას იზობარულ-იზოთერმული პროცესის დასასრულის გადაადგილებაში (წერტილი 3) მშრალი გაჯერებული ორთქლის ხაზიდან ტენიანი ორთქლის არეში და მქკ-ს დამოკიდებულების წარმოქმნაში X3-ზე. “პარაზიტული” კონდენსაციის გავლენა პროცესის 3-4 უფრო ტენიან ორთქლის ზონაში გადანაცვლებაში გამოიხატება, რაც, რა თქმა უნდა, ციკლის მქკ-ს ადაბლებს.

ანალიზი აჩვენებს, რომ ფორმულა (2-18) ძალაშია აორთქლებისა და კონდენსაციის პროცესების ნაწილობრივი ზედდართვის შემთხვევაშიც. სხვაობა მდგომარეობს მხოლოდ იმაში, რომ (2-18) ტოლობაში შემავალი სიდიდეები h_3 და v_3 უნდა ავიღოთ არა მშრალი გაჯერებული ორთქლისათვის (როგორც ეს ხდება იდეალიზირებული ციკლისათვის), არამედ წერტილი სამის წანაცვლების გათვალისწინებით ტენიანი ორთქლის არეში.

$$q_1 = q_1' + q_1'' \quad (2-19)$$

სადაც q_1' განისაზღვრება (2-4) ტოლობით, q_1'' კი გვექნება: $q_1'' = h_3' - h_2$, ამგვარად

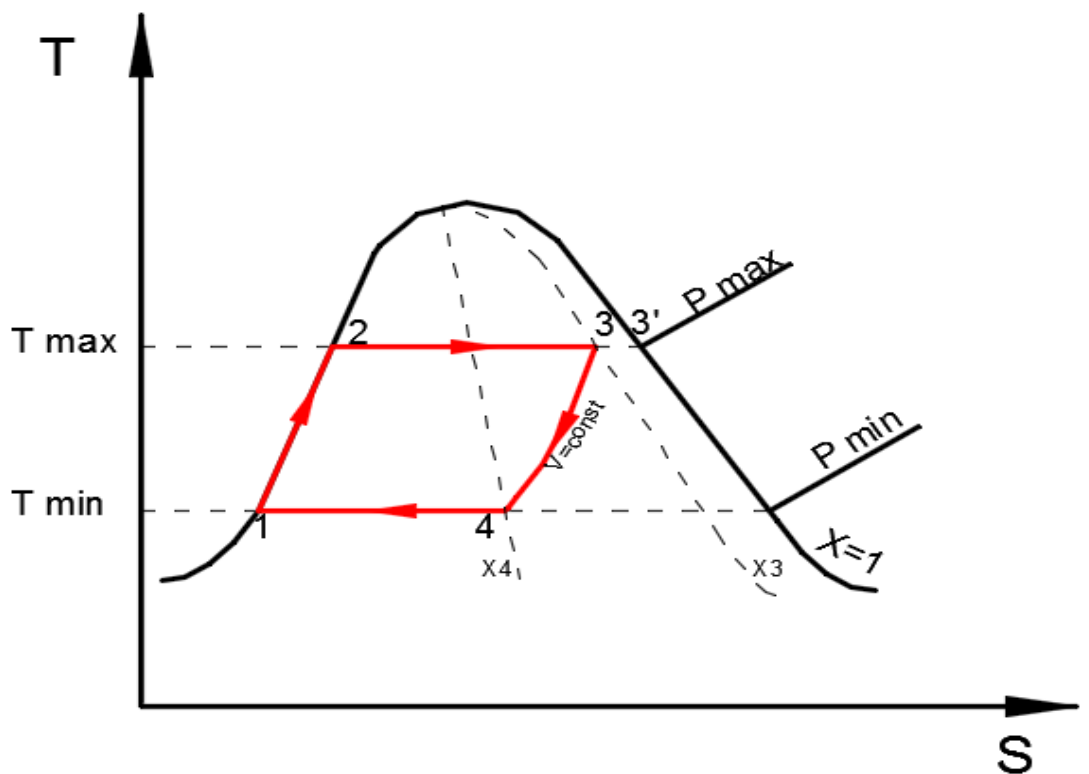
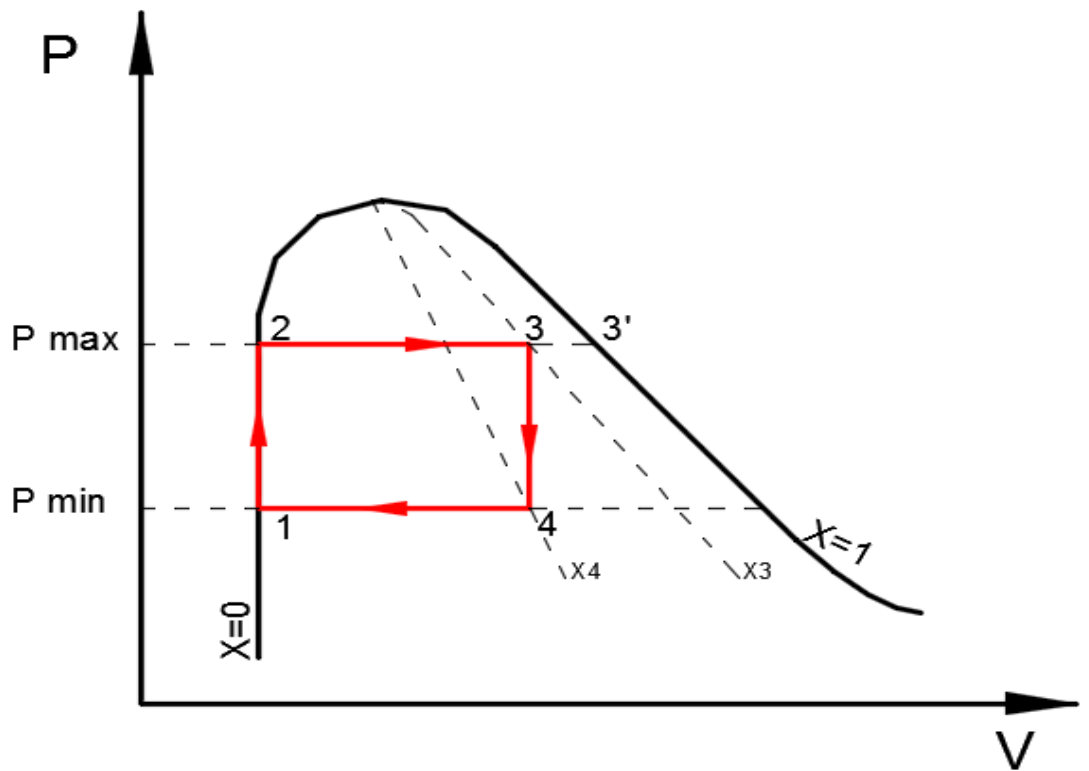
$$q_1 = (h_3' - h_1) - v_1 \Delta P \quad (2-20)$$

ართმეული სითბოსთვის:

$$q_2 = q_{3'-3} + q_2' + q_2'' \quad (2-21)$$

სადაც $q_{3'-3} = h_3' - h_3$ არის აორთქლების პროცესის დროში, მუშა სითხის ნაწილობრივი კონდენსაციისას ართმეული სითბო. q_2' და q_2'' კი განისაზღვრებიან როგორც იდეალიზირებულ ციკლში ფორმულებით (2-10) და (2-11). ზემოთ აღნიშნულის გათვალისწინებით ტოლობა (2-21) გარდაიქმნება შემდეგნაირად:

$$\begin{aligned} q_2 &= (h_3' - h_3) + (u_3 - u_4) + (h_4 - h_1) = \\ &= (h_3' - h_3) + (h_4 - u_4) + (u_3 - h_1) = \\ &= (h_3' - h_3) + P_4 v_4 + (h_3 - P_3 v_3 - h_1) \end{aligned} \quad (2-22)$$



ნახ.19. თბურამპრავიანი მემბრანული ტუმბოს პულსაციური საკნის რეალური თერმოდინამიკური ციკლი P-V და T- S კოორდინატებში.

თუ გავითვალისწინებთ, რომ $v_3 = v_4$, $P_3 = P_{max}$ და $P_4 = P_{min}$, მაშინ გვექნება:

$$q_2 = (h_3' - h_1) - v_3 \Delta P \quad (2-23)$$

თამტ-ს რეალური თერმოდინამიკური ციკლის თერმული მქკ-ს (2-1) ტოლობაში, (2-20) და (2-23) შეტანით მივიღებთ:

$$\eta = \frac{(h_3' - h_1) - v_1 \Delta P - (h_3' - h_1) + v_3 \Delta P}{(h_3' - h_1) - v_1 \Delta P} \quad (2-24)$$

რომელიც მარტივი გარდაქმნების შედეგად მიიღებს სახეს:

$$\eta = \frac{(v_3 - v_1) \Delta P}{(h_3' - h_1) - v_1 \Delta P} \quad (2-25)$$

(2-25) ტოლობის (2-17) ტოლობასთან თვალსაჩინო მსგავსების მიუხედავად, რადგანაც წერტილი 3 რეალურ ციკლში იმყოფება ტენიანი ორთქლის ზონაში, კუთრი მოცულობის v_3 -ის მნიშვნელობა ტოლობაში (2-25) განსხვავდება ტოლობაში (2-17) მნიშვნელობისაგან და განისაზღვრება როგორც ფუნქცია ორთქლშემცველობისა ცნობილი დამოკიდებულებით:

$$v_3 = v_2 + X_3(v'' - v_2) \quad (2-26)$$

სადაც v'' - არის მშრალი გაჯერებული ორთქლის კუთრი მოცულობა P_{max} - ის დროს. იმის გათვალისწინებით რომ პროცესი 1-2 ხდება მუდმივი მოცულობით და შესაბამისად $v_1 = v_2$, ტოლობა (2-26) მიიღებს შემდეგ სახეს:

$$v_3 = v_1 + X_3(v'' - v_1) \quad (2-27)$$

(2-27)-ის ჩასმით (2-2) ტოლობაში, რეალური ციკლის მქკ-ს განსაზღვრისათვის საბოლოოდ მივიღებთ:

$$\eta = \frac{x_3(v'' - v_1) \Delta P}{(h_3' - h_1) - v_1 \Delta P} \quad (2-28)$$

ადვილი შესამჩნევია, რომ ტოლობა (2-28) აკმაყოფილებს ზღვრულ პირობებს. როცა $X_3 = 0$, $\eta = 0$; როცა $X_3 = 1$, მაშინ (2-28) ტოლობა გადადის (2-17) ტოლობაში. ცხადია რომ (2-28) და (2-17) ტოლობების მარჯვენა

მხარეების ფარდობა გარდაიქმნება ორთქლშემცველობად X_3 . ამგვარად ადგილი აქვს ფარდობას:

$$\eta_{\text{რეალ}} / \eta_{\text{იდელ}} = X_3 \quad (2-29)$$

რეალური ციკლის თერმული მქკ-ს ტოლობა (2-28), ითვალისწინებს თამბ-ში აორთქლებისა და კონდენსაციის პროცესების ნაწილობრივ ზედდართვას, საშუალებას გვაძლევს განვსაზღვრეთ მუშა სხეულის ორთქლის ტენიანობის დასაშვები დიაპაზონი იზობარულ-იზოთერმული პროცესის დასასრულს, რასაც მივყავართ მოწყობილობის ენერგეტიკული ეფექტურობის მინიმალურ დანაკარგებთან.

როგორც უკვე აღვნიშნეთ, ჩვენი მიზანია რეალური ციკლის დაზუსტება მშრალ, გადახურებულ აორთქლების ზედაპირზე, შედარებით ცივი სითხის დგუშის დაჯახების შემდგომ განვითარებული თერმო-ჰიდროდინამიკური პროცესის თავისებურებების გათვალისწინებით. მხედველობაში გვაქვს ორფაზა არეს შესაძლო სტრუქტურა გადახურებულ კედელსა და მასაში გადაცივებულ (გაჯერების ტემპერატურის მიმართ) სითხეს შორის.

რამდენადაც ხურების ზედაპირის ტემპერატურა 1-2 პროცესის განმავლობაში ყოველთვის მეტია ნაჯერობის ტემპერატურაზე, ზედაპირის მიმდებარე სითხის მიკროშრეში ყოველთვის რჩება პირობები ორთქლის შენარჩუნებისათვის კედელთან შეხებაში მყოფი მიკრობუმტების სახით. აქედან გამომდინარე, სამუშაოში [76] მიღებული დაშვება 1-2 პროცესის მთლიანად სითხის ფაზაში მიმდინარეობის, ანუ მის განმავლობაში ორთქლშემცველობის ნულოვანი (ანუ ტენიანობის 100%-იანი) დონის შესახებ უფრო დეტალური განხილვისას მთლიანად გამართლებული აღარ არის.

მოყვანილი გარემოებები განაპირობებს 1-3 პროცესში ტენიანობის რეალური დონის გათვალისწინებით რეალური ციკლის დაზუსტების აუცილებლობას. როგორც შესაბამისი ანალიზი გვაჩვენებს, 1-3 პროცესში ხურების ზედაპირის ტემპერატურა თუმცა თანდათანობით ეცემა, იგი მაინც ყოველთვის რჩება გაჯერების ტემპერატურაზე მნიშვნელოვნად

უფრო მაღალი. შესაბამისად, ორთქლის მიკრობუმტების კვება ორთქლით ხურების ზედაპირის მხრიდან თუმცა ეცემა, მაგრამ ყოველთვის ინტენსიური რჩება.

რაც შეეხება ორთქლის კონდენსაციას მიკრობუმტებში ცივი წყლის მხრიდან, რამდენადაც სითხის ტემპერატურა გაჯერების ტემპერატურას უახლოვდება და ბოლოს ტოლიც ხდება, ასეთი კონდენსაციის ინტენსიურობა 1-2 პროცესის განმავლობაში მკვეთრად ეცემა და ბოლოს ნულზე დადის.

საბოლოო ანგარიშში აორთქლება-კონდენსაციის მასური ბალანსი აორთქლების მხარეზე იხრება და ორთქლის მასის წილი სითხის სასაზღვრო შრეში მუდმივად იზრდება. მასთან ერთად, 1-2 პროცესში წნევაც იზრდება, რაც ზრდის ორთქლის სიმკვრივეს მიკრობუმტებში. ამგვარად, 1-2 პროცესში ერთდროულად იზრდება მიკრობუმტების საერთო მასაც და სიმკვრივეც.

მოყვანილი მნიშვნელოვანი გარემოებები საშუალებას გვაძლევს პირველ მიახლოებაში დავუშვათ სითხის სასაზღვრო ფენაში ორთქლის მიკრობუმტების საერთო მოცულობის მუდმივობა მთელი 1-2 პროცესის განმავლობაში (ე.ი., ორთქლის საერთო მოცულობაზე ორივე პარამეტრის, ორთქლის საერთო მასისა და ორთქლის სიმკვრივის, ზრდის საწინააღმდეგო გავლენათა თანაბრობა).

ამგვარად, 1-2 პროცესი რჩება იზოქორულ გახურებად გაჯერების მრუდზე წნევის თანდათანობით ზრდით, ოღონდაც, 100%-ზე ნაკლები ტენიანობით (ტენიანობა მასური პარამეტრია), რომელიც თანდათან მცირდება წერტილ 1-დან წერტილ 2-მდე.

აქ უნდა აღინიშნოს, რომ, ზოგადად, თხევად დუმიან ორთქლის ძრავაში თერმოდინამიკური ციკლი ვრცელდება მხოლოდ დგუმის ზემო სითხის თხელი ფენის მასაზე, რომელიც ციკლში მთლიანად ორთქლდება და კონდენსირდება.

თამტ-ს დაზუსტებული რეალური თერმოდინამიკური ციკლი მოყვანილია ნახაზზე 20. დაზუსტებული რეალური თერმოდინამიკური

ციკლის მდგენელი პროცესების თანმიმდევრული ანალიზის გზით დამუშავებულია ციკლის კომპიუტერული მოდელი, რომელიც საშუალებას იძლევა განვსაზღვროთ ციკლის პარამეტრები სხვადასხვა საწყისი პირობებისათვის.

დაზუსტებული რეალური თერმოდინამიკური ციკლის თერმოდინამიკური ანალიზის საფუძველზე, ნახ.20-ის მიხედვით დაზუსტებული თბურამძრავიანი მემბრანული ტუმბოს რეალური თერმოდინამიკური ციკლის მქვ შემდეგნაირად განისაზღვრება:

$$\eta = \frac{(q_1 - q_2)}{q_1} = 1 - \frac{q_2}{q_1} \quad (2-30)$$

ციკლში მიწოდებული სითბო:

$$q_1 = q_1' + q_1'' \quad (2-2)$$

სადაც q_1' - იზოქორულ 1-2 პროცესში მიწოდებული სითბოა, ხოლო q_1'' - იზობარულ-იზოთერმულ 2-3 პროცესში მიწოდებული სითბო. ციკლიდან ართმეული სითბო:

$$q_2 = q_2' + q_2'' \quad (2-3)$$

სადაც q_2' - იზოქორულ 3-4 პროცესში ართმეული სითბოა, ხოლო q_2'' -იზობარულ-იზოთერმულ 4-1 პროცესში ართმეული სითბო.

იზოქორულ 1-2 პროცესში მიწოდებულ სითბოს ვანგარიშობთ როგორც მუშა სხეულის შიგა ენერჯიათა სხვაობას:

$$q_1' = u_2 - u_1 \quad (2-4)$$

სადაც u მუშა სხეულის შიგა ენერჯიაა, [ჯ/კგ].

იზოქორულ 3-4 პროცესში ართმეული სითბო:

$$q_2' = u_3 - u_4 \quad (2-10)$$

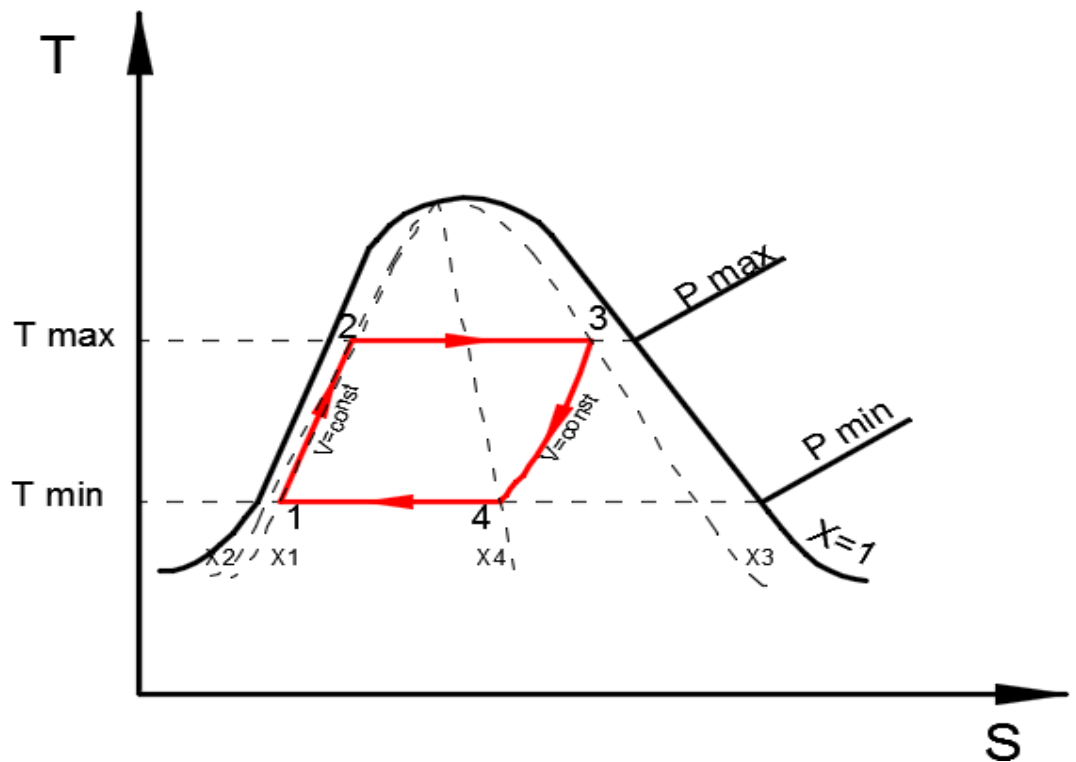
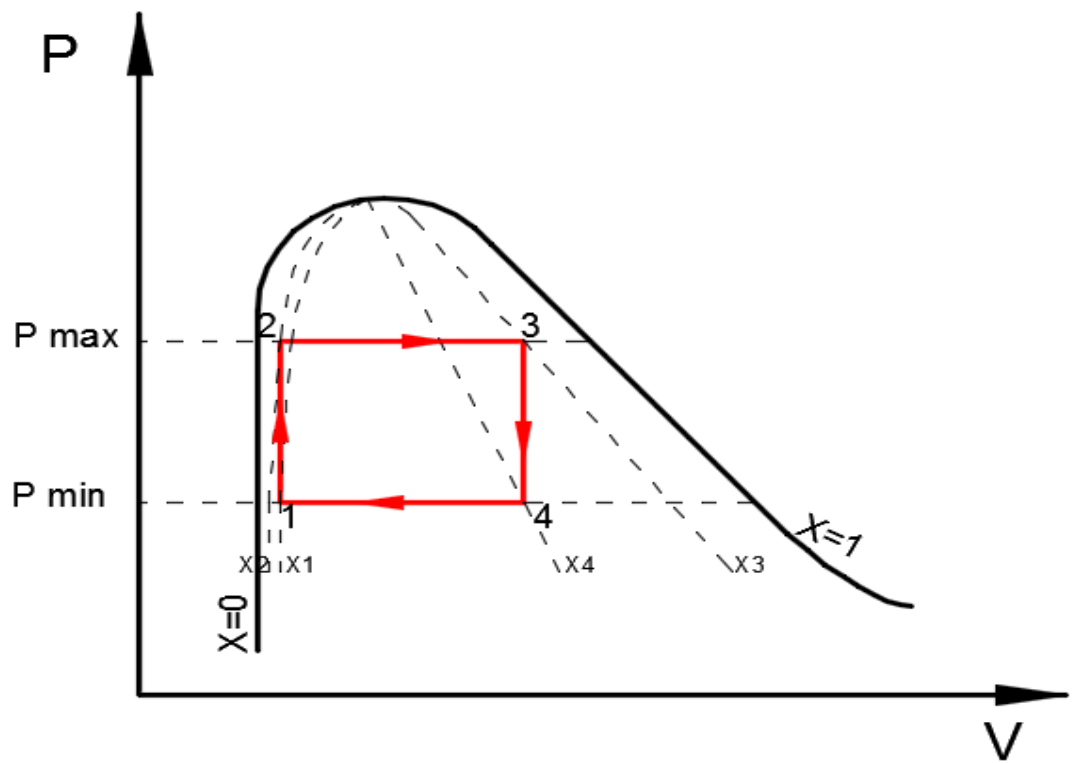
იზობარულ 2-3 პროცესში მიწოდებული სითბო:

$$q_1'' = h_3 - h_2 \quad (2-5)$$

იზობარულ 4-1 პროცესში ართმეული სითბო:

$$q_2'' = h_4 - h_1 \quad (2-12)$$

(2-4), (2-5), (2-10), (2-12) ტოლობების შეტანით (2-30) ტოლობაში მივიღებთ:



ნახ. 20. სითხის დეგუმბიანი თამბტ-ს პულსაციური საკნის დაზუსტებული რეალური თერმოდინამიკური ციკლი P-V და TS კოორდინატებში

$$\eta = 1 - \frac{u_3 - u_4 + h_4 - h_1}{u_2 - u_1 + h_3 - h_2} \quad (2-31)$$

სხვადასხვა წერტილში შიგა ენერჯიის საანგარიშოდ ვიყენებთ ცნობილ დამოკიდებულებას $u = h - Pv$. შესაბამისად შიგა ენერჯიები წერტილებში 1,2,3,4 ტოლია:

$$u_1 = h_1 - P_{min} v_1 \quad (2-32)$$

$$u_2 = h_2 - P_{max} v_2 \quad (2-33)$$

$$u_3 = h_3 - P_{max} v_3 \quad (2-34)$$

$$u_4 = h_4 - P_{min} v_4 \quad (2-35)$$

თავის მხრივ:

$$h_1 = h'_{Pmin} + x_1 r_{pmin} \quad (2-36)$$

$$h_2 = h'_{Pmax} + x_2 r_{pmax} \quad (2-37)$$

$$h_3 = h'_{Pmax} + x_3 r_{pmax} \quad (2-38)$$

$$h_4 = h'_{Pmin} + x_4 r_{pmin} \quad (2-39)$$

$$v_1 = v'_{Pmin} (1 - x_1) + x_1 v''_{pmin} \quad (2-40)$$

$$v_2 = v'_{Pmax} (1 - x_2) + x_2 v''_{pmax} \quad (2-41)$$

$$v_3 = v'_{Pmax} (1 - x_3) + x_3 v''_{pmax} \quad (2-42)$$

$$v_4 = v'_{Pmin} (1 - x_4) + x_4 v''_{pmin} \quad (2-43)$$

სადაც, x_1, x_2, x_3, x_4 მუშა სხეულის სიმშრალის ხარისხებია შესაბამისად 1, 2, 3, 4 წერტილებში (ნახ.20); h'_{Pmax} და h'_{Pmin} - ნაჯერობის მდგომარეობაში მყოფი მუშა სითხის ენთალპია ციკლის მაქსიმალურ და მინიმალურ წნევებზე; r_{Pmax} და r_{Pmin} - მუშა სითხის აორთქლების ფარული სითბო ციკლის მაქსიმალურ და მინიმალურ წნევებზე; v'_{Pmax} და v'_{Pmin} - ნაჯერობის მდგომარეობაში მყოფი მუშა სითხის კუთრი მოცულობა ციკლის მაქსიმალურ და მინიმალურ წნევებზე; v''_{Pmax} და v''_{Pmin} - მუშა სითხის მშრალი ნაჯერი ორთქლის კუთრი მოცულობა ციკლის მაქსიმალურ და მინიმალურ წნევებზე.

ტოლობების (2-32) - (2-43) შეტანით ტოლობა (2-31)-ში და მარტივი მათემატიკური გარდაქმნებით მივიღებთ:

$$\eta_{t=1} = \frac{h'_{Pmax} + X_3 r_{Pmax} - h'_{Pmin} - X_1 r_{Pmin} - (Pmax - Pmin)v'_{Pmax} - (Pmax - Pmin)X_3 v''_{Pmax} + (Pmax - Pmin)X_3 v'_{Pmax}}{h'_{Pmax} + X_3 r_{Pmax} - h'_{Pmin} - X_1 r_{Pmin} - (Pmax - Pmin)v'_{Pmin} - (Pmax - Pmin)X_1 v''_{Pmin} + (Pmax - Pmin)X_1 v'_{Pmin}} \quad (2-44)$$

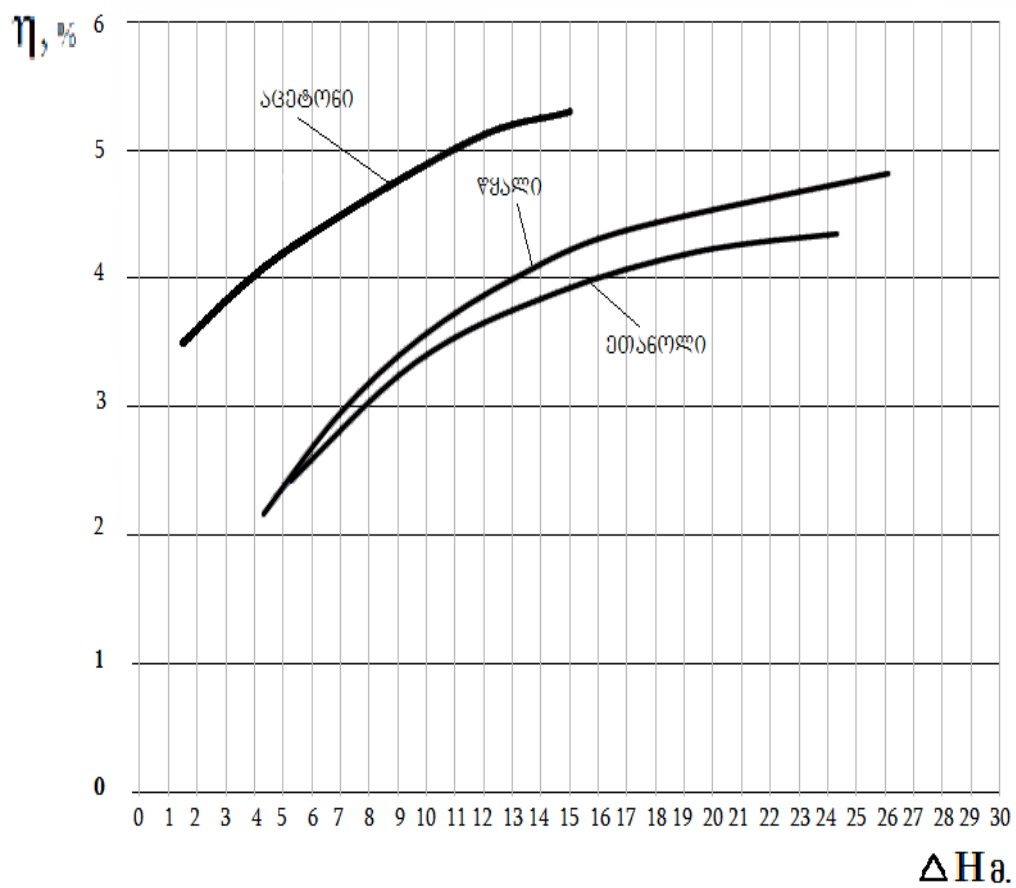
$$\eta_{t=1} = \frac{h'_{Pmax} + X_3 r_{Pmax} - h'_{Pmin} - X_1 r_{Pmin} - (Pmax - Pmin)(v'_{Pmax} + X_3 v''_{Pmax} - X_3 v'_{Pmax})}{h'_{Pmax} + X_3 r_{Pmax} - h'_{Pmin} - X_1 r_{Pmin} - (Pmax - Pmin)(v'_{Pmin} + X_1 v''_{Pmin} - X_1 v'_{Pmin})} \quad (2-45)$$

$$\eta_{t=1} = \frac{h'_{Pmax} + X_3 r_{Pmax} - h'_{Pmin} - X_1 r_{Pmin} - \Delta P(v'_{Pmax} + X_3 v''_{Pmax} - X_3 v'_{Pmax})}{h'_{Pmax} + X_3 r_{Pmax} - h'_{Pmin} - X_1 r_{Pmin} - \Delta P(v'_{Pmin} + X_1 v''_{Pmin} - X_1 v'_{Pmin})} \quad (2-46)$$

სადაც, X_1 და X_3 მუშა სხეულის სიმშრალის ხარისხებია შესაბამისად 1 და 3 წერტილებში (ნახ. 3); h'_{Pmax} და h'_{Pmin} - ნაჯერობის მდგომარეობაში მყოფი მუშა სითხის ენთალპია ციკლის მაქსიმალურ და მინიმალურ წნევებზე; r_{Pmax} და r_{Pmin} - მუშა სითხის აორთქლების ფარული სითბო ციკლის მაქსიმალურ და მინიმალურ წნევებზე; v'_{Pmax} და v'_{Pmin} - ნაჯერობის მდგომარეობაში მყოფი მუშა სითხის კუთრი მოცულობა ციკლის მაქსიმალურ და მინიმალურ წნევებზე; v''_{Pmax} და v''_{Pmin} - მუშა სითხის მშრალი ნაჯერი ორთქლის კუთრი მოცულობა ციკლის მაქსიმალურ და მინიმალურ წნევებზე; ΔP - სხვაობა ციკლის მაქსიმალურ და მინიმალურ წნევებს შორის.

აღსანიშნავია, რომ იმ შემთხვევაში თუ მუშა სხეულის სიმშრალის ხარისხი წერტილში 1 (ნახ. 20) იქნება ნულის ტოლი, მაშინ განტოლება (2-46)-ის გარკვეული გარდაქმნების შემდეგ მიიღება (2-28)-ის ტოლფასი გამოსახულება, ხოლო თუ ამავდროულად მუშა სხეულის სიმშრალის ხარისხი წერტილში 3 (ნახ. 20) იქნება ერთის ტოლი, მაშინ გამოსახულება (2-46) გარდაიქმნება თამტ-ს იდეალიზირებული თერმოდინამიკული ციკლის მქკ-ს გამოსათვლელ გამოსახულებად (2-18).

ნახაზზე 21 მოყვანილია კომპიუტერული მოდელირების შედეგად მიღებული მრუდები, რომლებიც სხვადასხვა შუალედური მუშა აგენტების გამოყენების პოტენციურ ეფექტურობას ასახავს.



ნახ. 21. თამბ-ს პოტენციური მუშა აგენტების შედარება თერმოდინამიკური ციკლის კომპიუტერული მოდელის გამოყენებით

მნიშვნელოვანია, რომ გამოვლენილია ჩვენი ამოცანისათვის შესაფერისი ნაჯერობის მრუდის მქონე მუშა აგენტის, აცეტონის უპირატესობა წყალთან და ეთანოლთან.

უნდა აღინიშნოს აგრეთვე, რომ მქკ-ს მიღებული აბსოლუტური სიდიდეები დაბალი ტემპერატურის სითბოს გამოყენების შემთხვევისათვის საკამარისად მაღალია და რეალურ ტუმბოში მათთან მიახლოებულ ეფექტურობის რეალიზაციის შემთხვევაში თამბ ნამდვილად კონკურენტუნარიანი აღმოჩნდება.

შედეგები (კომპიუტერული მოდელი და მარგი ქმედების კოეფიციენტის საანგარიშო განტოლება) თეორიულ საფუძველს ქმნის ტუმბოს კონსტრუქციული დახვეწისა და სხვადასხვა პირობებისათვის ოპტიმალური მუშა აგენტის შერჩევისათვის.

თავი 3. თხევადი დგუშის თერმო-ჰიდროდინამიკის გამოკვლევის შედეგები.

შეიქმნა თხევადდგუშიანი თამბ-ს აორთქლება-კონდენსაციური ნაკვეთურის(მუშა საკნის) თერმო - ჰიდროდინამიკის საკვლევ ექსპერიმენტული სტენდი.

ნახაზზე 22 წარმოდგენილია თხევადი დგუშის აორთქლება-კონდენსაციის თერმო-ჰიდროდინამიკის საკვლევ ექსპერიმენტული სტენდის პრინციპული სქემა, ხოლო სურათზე 2 მოცემულია პულსაციური რეჟიმის ფოტო.

ექსპერიმენტული სტენდი შეიცავს თამბ-ს მხოლოდ მუშა საკანს (აორთქლება-კონდენსაციურ ნაკვეთურს) 1 ს-ს მაგვარი მილით 3. მუშა საკანში კონდენსაცია ხდება თხევადი დგუშის მიერ გაგრილებული ამორთქლებელი ნაკვეთურის კედლებსა და თხევადი დგუშის ზედაპირზე, ხოლო აორთქლება ხუფის შიგა ზედაპირზე. ვინაიდან თხევადი დგუშის ტემპერატურა საწყისი პულსაციების დროს მკვეთრად განსხვავდება მუშა სითხის გადახურებული ორთქლის ტემპერატურისაგან, პულსაციური რეჟიმი საკმაოდ დიდხანს გრძელდება და საჭირო ანათვლების აღება პრობლემას არ წარმოადგენს. სპილენძის სახურავის 2 ღეროზე ჩამოცმულია გამახურებელი, რომელსაც მიეწოდება რეგულირებადი სიმძლავრე; ს-ს მაგვარი მილი ზიარი ჭურჭლის პრინციპიდან გამომდინარე უზრუნველყოფს თხევადი დგუშის გამახურებელ ზედაპირთან კონტაქტს; მილის გარე შტო გამჭვირვალეა და ვიდეოგადაღებისა 4 და უკანა ფონზე განლაგებული დონის სკალის 5 გამოყენებით, თხევადი დგუშის პულსაციური გადაადგილებების ფიქსაციის საშუალებას იძლევა. სინქრონულად მიმდინარეობს ხურების ზედაპირის ტემპერატურის პულსაციების ჩაწერა, შესაბამისი თერმოწყვილური გადამცემისა და კომპიუტერული ჩაწერის გამოყენებით 7, რაც ძალზედ მოსახერხებელია, რადგან თავს უყრის მთელს

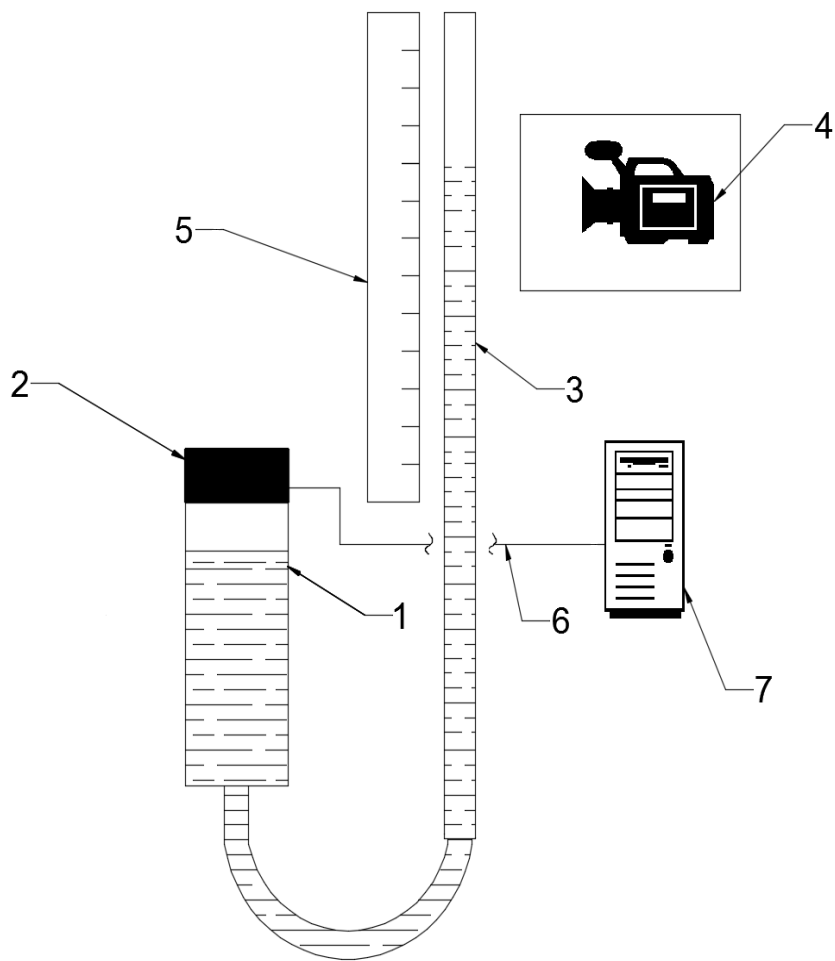
ინფორმაციას დროის, ტემპერატურისა და თხევადი დგუშის სინქრონული პულსაციისას ერთ ვიდეო კადრში.

გამახურებელი სისტემის ჩართვის შემდგომ ამორთქლებელი ნაკვეთურის სპილენძის დაღარულ ზედაპირზე ტემპერატურის ზრდის შედეგად ზედაპირთან შეხებაში მყოფი თხევადი დგუშის ზედა მცირე ნაწილი ორთქლდება, წნევა იზრდება შედეგად საპულსაციო სითხე გადაადგილდება U-ს მაგვარ მილში. ამორთქლებელ ზედაპირზე შერჩენილი მუშა აგენტის სრულ აორთქლებას შეესაბამება მილის გარე შტოში სითხის მაქსიმალურ დონეზე ასვლა. რის შემდგომაც ხდება მუშა აგენტის ორთქლის ფაზის კონდენსაცია თხევადი დგუშის ზედაპირზე, წნევა მცირდება, სითხე იწყებს უკუ მოძრაობას და თხევადი დგუში კვლავ შეხებაში მოდის გადახურებულ ამორთქლებელ ზედაპირთან. პროცესი მეორდება, რაც უზრუნველყოფს სითხის პილსაციას U-ს მაგვარი მილის გარე შტოში.

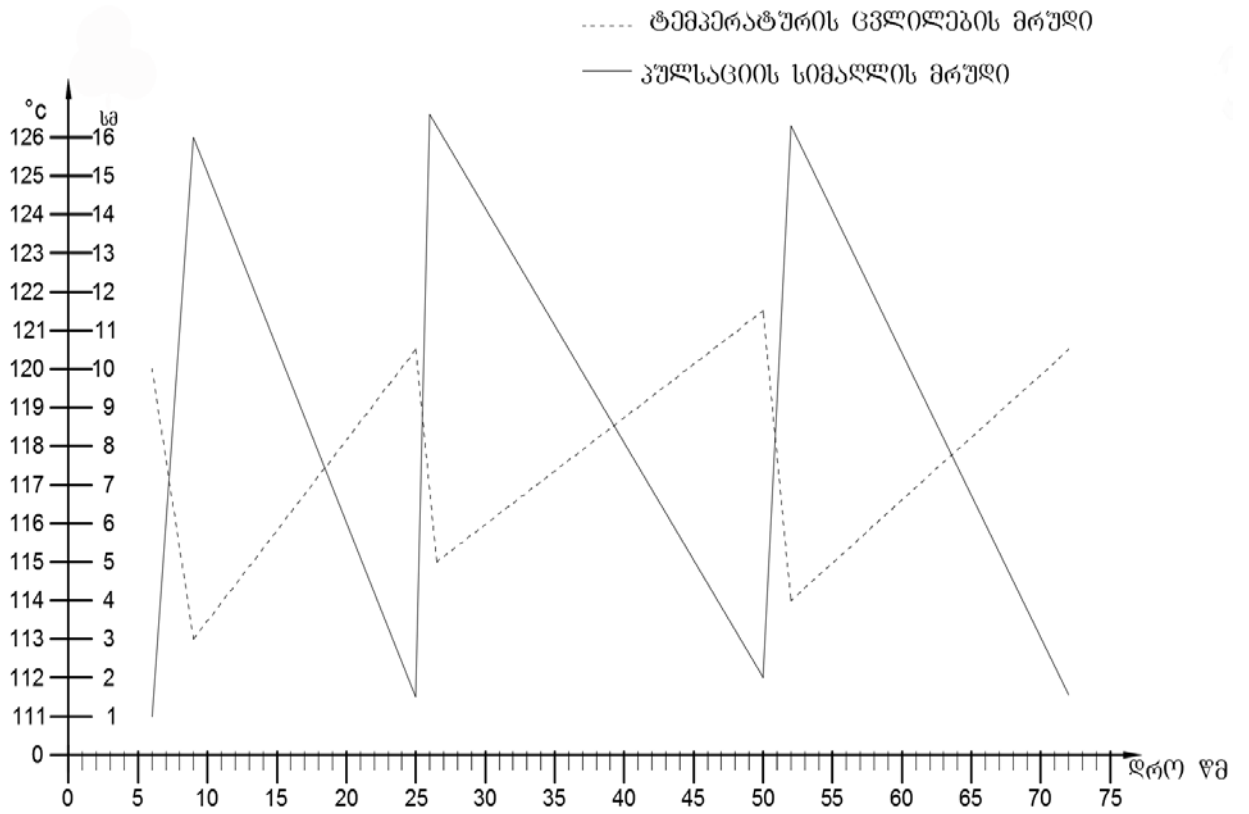
მიღებული შედეგები მკაფიოდ ადასტურებს თხევადდგუშიანი მუშა კამერის თვითგაშვებადობას და შემდგომი პულსაციური რეჟიმის სტაბილურურობას, რაც თეორიულად ისედაც ცხადი იყო, ვინაიდან გამახურებელ ზედაპირზე ტემპერატურის ზრდის შედეგად მასთან შეხებაში მყოფ მუშა სითხეში წარმოქმნილი პირველი ბუშტი სისტემის თვითგაშვების ტოლფასია.

წყლის პულსაციები იზომებოდა დონის სკალაზე პულსაციური რეჟიმის ვიდეო ასახვის საშუალებით. წყლის პულსაციების განსაზღვრის ცდომილება ჩატარებულ ექსპერიმენტებში არ აღემატებოდა 3 %-ს. ტუმბოს მუშა აგენტად ჩატარებულ ექსპერიმენტებში გამოიყენებოდა დისტილირებული წყალი.

თხევადი დგუშისა და ხურების ზედაპირის სინქრონული პულსაციური რეჟიმების კვლევის ტიპური შედეგები წარმოდგენილია ნახზზე 23. დროის მიხედვით ჩაწერილი თხევადი დგუშის დონისა და ხურების ზედაპირის ტემპერატურის პულსაციები გარკვეულ ურთიერთკორელაციაშია. კერძოდ, ხურების ზედაპირის ტემპერატურის



ნახ. 22. თხევადი დღუმის თერმო-ჰიდროდინამიკის საკვლევ ექსპერიმენტული სტენდის სქემა: 1 – მუშა საკანი; 2 – სახურავი გამხურებლით; 3 – U-მაგვარი მილი გამჭვირვალე გარე შტოთი; 4 – მუშა აგენტის დონის ვიდეოფიქსაცია; 5 - მუშა აგენტის დონის სკალა; 6 – ხურების ზედაპირის ტემპერატურის გადამცემი; 7 – ტემპერატურის ჩამწერი.



ნახ. 23. თხევადი დეგუმის პულსაციური გადაადგილებებისა და ხურების ზედაპირის ტემპერატურის სინქრონული პულსაციების ტიპიური მრუდები

მკვეთრი ვარდნა (ვარდნის დასაწყისი) მცირედ (დაახლოებით 0.2 წამით) ჩამორჩება წყლის დონის მაქსიმალურ დონეზე ასვლას (ასვლის დასაწყისს) Π -ს მაგვარი მილის გამჭვირვალე გარე შტოში, რაც თხევადი დღუშის გადახურებულ ზედაპირზე შეჯახებას შეესაბამება.

თხევადი დღუშის აორთქლება-კონდენსაციის თერმო-ჰიდროდინამიკის კვლევის შედეგები კონკრეტული მუშა საკნის ემედიტუნარიანობისა და გადატუმბული წყლის ხარჯის მიღწევად დონეთა წინასწარი შეფასების საშუალებას იძლევა.



სურათი 2. პულსაციური რეჟიმის ფოტო.

თავი 4. მოდიფიცირებული თბურამპრავიანი მემბრანული ტუმბოს ექსპერიმენტური მოდელი, თერმო-ჰიდროდინამიკური პარამეტრების საკვლევი სტენდი, კვლევის მეთოდოლოგია და შედეგები.

4.1. თბურამპრავიანი მემბრანული ტუმბოს ექსპერიმენტული მოდელი

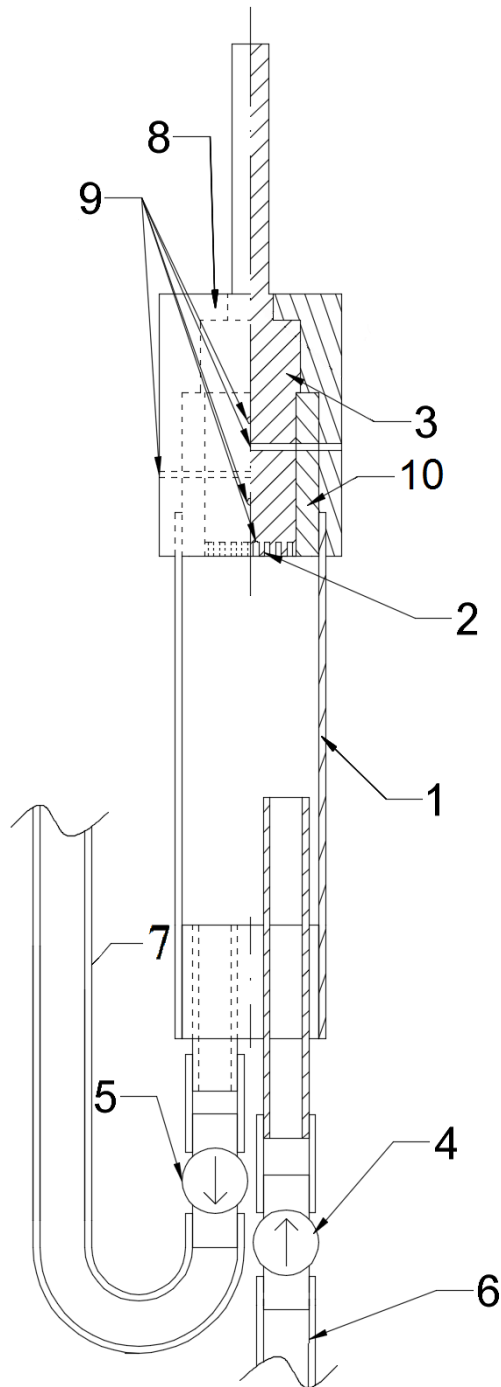
შეიქმნა თხევადდგუშიანი თამტ-ს მუშა საკნის ტუმბვის რეჟიმის საკვლევი ექსპერიმენტული მოდელი.

ნახაზზე 24 წარმოდგენილია თამტ-ს ექსპერიმენტული მოდელის პრინციპული სქემა. მოდელი წარმოადგენს ნახაზზე 10 წარმოდგენილი თამტ-ს ახალი, თხევადდგუშიანი მოდიფიკაციის გამარტივებულ ვერსიას, რომელშიც დატოვებულია მხოლოდ ზედა კამერა (მუშა საკანი) და იგი უშუალოდ წყლის გადატუმბვის რეჟიმში მუშაობს. შესაბამისად, მუშა აგენტიც იგივე გადასატუმბი სითხე, ე.ი. წყალია.

ექსპერიმენტული მოდელი ტუმბოს რეჟიმში შეიცავს: აორთქლებს კონდენსაციურ მუშა საკანს 1; ცილინდრული ფორმის მასიურ სპილენძის ხუფს ზემოთ მიმართული ღეროთი 3, ქვემოთ მიმართული დაღარული ხურების ზედაპირით 2, უჟანგავი ლითონის გარსაცმით 10, თბოიზოლაციით 8 და თერმოწყვილების შესაყვანი ნასვრეტებით 9 და მიმღებ 6 და მიმწოდებელ 7 მილტუჩებს, შესაბამისი შემწოვი 4 და დამჭირხნი 5 სარქველებით.

სპილენძის ხუფს სითბო მიეწოდება ელექტრო გამახურებლიდან. იზრდება ამაორთქლებელი ზედაპირის ტემპერატურა, მუშა ნაკვეთურში არსებული თხევადი დგუშის ზედაპირი ხურდება, ორთქლდება, რაც სისტემის თვით გაშვების ტოლფასია. ორთქლის რაოდენობის ზრდა იწვევს გადასატუმბი სითხის დამჭირხნი სარქველითა და მიმწოდებელი მილით გადასატუმბვას, რის შემდეგაც მიმღები მილიდან შემწოვი სარქველის გავით ახალი ულუფა მიეწოდება მუშა ნაკვეთურს.

ექსპერიმენტული მოდელი აღჭურვილია რეგულირებადი ელექტროგახურებითა და გახურების სიმძლავრის გაზომვის სისტემით.



ნახ. 24. თამტ-ს ექსპერიმენტული მოდელის პრინციპული სქემა ტუმბვის რეჟიმში: 1 – მუშა საკანი; 2 – ხურების დაღარული ზედაპირი; 3 – სპილენძის ხუფი; 4 – შემწოვი სარქველი; 5 – დამჭირხნი სარქველი; 6 – მიმღები მილტუჩი; 7 - მიმწოდებელი მილტუჩი; 8 - თბოიზოლაცია; 9 - თერმოწყვილების შესაყვანი ნასვრეტები; 10– უჟანგავი ლითონის გარსაცმი.

ხურების ზედაპირს სითბო გადაეცემა ზემოდან სპილენძის ღეროს გავლით, რომლის ტემპერატურული რეჟიმიც მასში განლაგებული რამდენიმე თერმოწყვილით კონტროლდება. ექსპერიმენტული მოდელის გახურების ზონა აღჭურვილია თბური იზოლაციით.

როგორც ნახაზიდან ჩანს, ექსპერიმენტულ მოდელს მხოლოდ ორი სარქველი აქვს, ხოლო მუშა საკანი წყლის გადატუმბვაში უშუალოდ, მემბრანის გარეშე მონაწილეობს.

ასეთი ექსპერიმენტი, რამდენადაც იგი კვლევას ადრინდელ მოდიფიკაციებში გამოცდილი კვანძების ხელახლა შესაწავლით არ გადატვირთავს, ამარტივებს ახალი მოდიფიკაციის ძირითადი ახალი კვანძის, თხევადდგუშიანი მუშა საკნის ქმედითუნარიანობის შესწავლას.

რამდენადაც შეწოვის სტადიაზე თამტ-ს ექსპერიმენტული მოდელი ყოველთვის წყლის ახალ, ე.ი. შედარებით ცივ ულუფას იწოვს, განსაკუთრებით კი მაშინ როდესაც ახალი შედარებით ცივი წყლის ულუფა პირდაპირ გადახურებულ ორთქლში გაიფრქვევა, კონდენსაცია გაცილებით უფრო ინტენსიურია ხდება, ვიდრე დაჭირხვნის ეტაპზე, როცა კონდენსაციას უკვე წინასწარ შემთბარ სითხეზე აქვს ადგილი. შესაბამისად, მოდელში სწორედ კონდენსაციის სასურველი ორსიჩქარიანი რეჟიმი ხორციელდება.

4.2. თხურამძრავიანი მემბრანული ტუმბოს ექსპერიმენტული მოდელის საკვლევი სტენდი, კვლევის მეთოდოლოგია და კვლევის ძირითადი შედეგები.

შეიქმნა თხევადდგუშიანი თამტ-ს მუშა საკნის ტუმბვის რეჟიმის საკვლევი ექსპერიმენტული მოდელის საკვლევი სტენდი.

თამტ-ს ექსპერიმენტული მოდელის საკვლევი სტენდის პრინციპული სქემა წარმოდგენილია ნახაზზე 25, ხოლო სურათზე სამი მოცემულია საკვლევი სტენდის საერთო სახე. სტენდი შედგება მუშა ნაკვეთურისგან 1, რომელის კორპუსიც დამზადებულია ტეფლონისაგან (ექსპერიმენტები აგრეთვე ტარდებოდა არმირებული მილის კორპუსიან ექსპერიმენტულ

მოდელზე) , რომელიც გამოირჩევა მაღალი თერმომდგრადი თვისებებით, ასევე მისი დამუშავება ადვილია სახარატო ჩარხზე და არც აქტიური სითხეები ახდენენ მასზე ზემოქმედებას. ამავდროულად კედლის სისქის სათანადო შერჩევით შესაძლებელია დამატებითი თბოიზოლაციის არსებობის გამორიცხვა. ტეფლონის კორპუსი ჰერმეტიკულად მიბჯენილია დადარულ ზედაპირიან სპილენძის ხუფის უჟანგავი ფოლადის გარსაცმს, ჰერმეტიკობის უზრუნველსაყოფად გამოვიყენეთ თერმომდგრადი ელასტიური რეზინი. მიღებული დეტალების მჭიდრო კავშირს უზრუნველყოფს შემკვრელი კონსტრუქცია, რომელიც ტეფლონსა და უჟანგავი ლითონის გარსაცმს შორის მოქცეულ შუასადებ რეზინზე ზემოქმედებს ჰერმეტიკობის მისაღწევად;

გადასატუმბი წყლის რეზერვუარი 2 შევსებულია გამოხდილი წყლით, რათა არ მოხდეს სპილენძის ხურების ზედაპირის დაფარვა გამოუხდელი წყლის აორთქლების შედეგად დარჩენილი მარილებით; 3 წარმოადგენს გადატუმბული წყლის რეზერვუარს, რომელშიც ჩაედინება წყლის ხარჯის გამზომი კვანძის 4 გავლით გადატუმბული წყალი. წყლის ხარჯი ასევე იზომება მოცულობითი მეთოდისა და წამზომის გამოყენებით. წყლის ხარჯის განსაზღვრის ცდომილება ჩატარებულ ექსპერიმენტებში არ აღემატებოდა 5 %-ს.

ხურების ზედაპირის ტემპერატურული რეჟიმის მარეგულირებელი კვანძი 5 ტუმბოს მუშაობისათვის საჭირო თბური სიმძლავრის დასამყარებლად ითვალისწინებს ვოლტმეტრს და ამპერმეტრს, ხოლო ტუმბოს გახურების თბური სიმძლავრე ამპერმეტრისა და ვოლტმეტრის ჩვენებას გამოკლებული თბოდანაკარგებია. ცდომილება ჩატარებულ ექსპერიმენტებში არ აღემატებოდა 8 %-ს; მუშა კამერის წნევების რეჟიმის მარეგისტრირებელი კვანძი 6 უზრუნველყოფს მუშა კამერაში არსებული წნევის კონტროლს.

თამტ-ს ექსპერიმენტული მოდელის თერმო-ჰიდროდინამიკური პარამეტრების კვლევის მეთოდიკა პირველ ეტაპზე ითვალისწინებს თბოიზოლაციის გავლით გარემოში თბური დანაკარგებისა და

ელექტროგახურების ზონის ტემპერატურას შორის დამოკიდებულების ექსპერიმენტული მრუდის აგებას, ძირითადი ექსპერიმენტების პირობებში ელექტროგახურების გარემოში გაბნეული ნაწილის განსაზღვრის მიზნით.

ძირითადი პარამეტრები, რომელებიც იზომება ექსპერიმენტული მოდელის თერმო-ჰიდროდინამიკური პარამეტრების კვლევის მთავარ ეტაპზე შემდეგია:

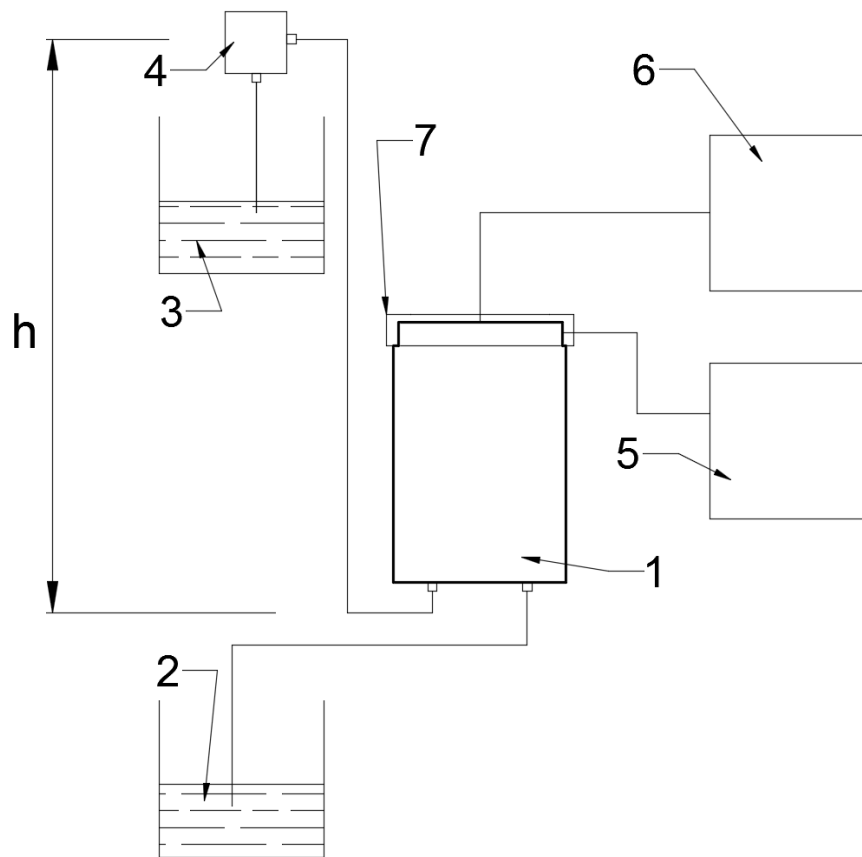
- თამტ-ს გახურების სიმძლავრე (ელექტროგახურების ელექტრული პარამეტრებით გაზომილი სიმძლავრე თბური დანაკარგის გამოკლებით, რომელიც გამახურებლის ზონის რეალური ტემპერატურითა და პირველ ეტაპზე დადგენილი თბური დანაკარგების მრუდით განისაზღვრება);

- თამტ-ს წარმადობა, ანუ წყლის რაოდენობა, რომელიც დროის ერთეულში გადაიტუმბება გადასატუმბი წყლის რეზერვუარიდან გადატუმბული წყლის რეზერვუარში (გაზომილი წყლის საზომი მოცულობითი მეთოდითა და წამმზომით);

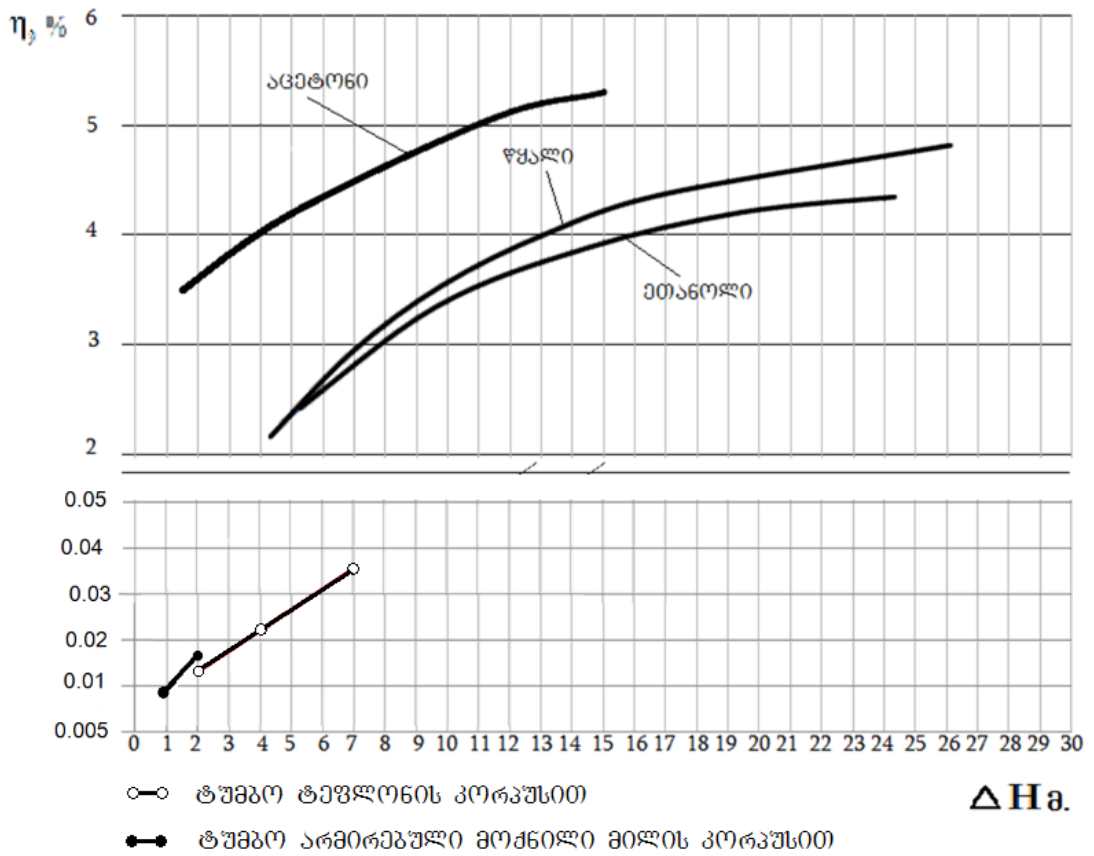
- კონკრეტულ რეჟიმში თამტ-ს მიერ განვითარებული დაწნევა, რომელიც გადასატუმბი და გადატუმბული წყლის რეზერვუარებში წყლის დონეთა სხვაობის ტოლია.

კვლევის ძირითადი შედეგი მოცემულია ნახ.26-ზე "თამტ-ს ექსპერიმენტული მოდელის მქკ-სა და დაწნევას შორის დამოკიდებულების ექსპერიმენტალური მრუდის სახით.

როგორც მოყვანილი მონაცემებიდან გამომდინარეობს, მოდელის მქკ-ს დაფიქსირებული სიდიდეები საკმარისად დაბალია (0.009-0.035%), თუმცა ტუმბოს ახალი მოდიფიკაციის დამუშავების მოცემულ ეტაპზე მოწყობილობის მცირემასშტაბიანი მოდელის სახით რეალიზაციის პირობებში ეს მოულოდნელი შედეგი არ არის.



ნახ. 25. მოდიფიცირებული თბურამპრავიანი მემბრანული ტუმბოს ექსპერიმენტალური მოდელის საკვლევ სტენდი: 1 – თამბ-ს ექსპერიმენტული მოდელი; 2 – გადასატუმბი წყლის რეზერვუარი; 3 - გადატუმბული წყლის რეზერვუარი; 4 – წყლის ხარჯის გამზომი კვანძი; 5 – ხურების ზედაპირის ტემპერატურული რეჟიმის მარეგისტრირებელი კვანძი; 6 - მუშა კამერის წნევების რეჟიმის მარეგისტრირებელი კვანძი.



ნახ.26. თამბ-ს თეორიულისა და ექსპერიმენტული მოდელის "მქკ-სა და დაწნევას" შორის დამოკიდებულების ექსპერიმენტალური მრუდები



სურათი 3. მოდიფიცირებული თბურამპრავიანი მემბრანული ტუმბოს
ექსპერიმენტალური მოდელის საკვლევი სტენდი

რამდენადაც ბრტყელ ჰელიოკოლექტორიანი ცხელი წყლის მომარაგების სიტემის ფუნქციონირებისათვის საჭირო წყლის ხარჯი დაახლოებით 20 ლ/სთ-ის დონეზეა, სისტემის ამ ძირითადი მოთხოვნის დასაკმაყოფილებლად ხურების ზედაპირის დიამეტრის გახუთმაგება, ანუ 10 სმ-მდე აყვანაც კი არ აღმოჩნდება საჭირო, რაც რაიმე სიძნელეს არ წარმოადგენს (თამტ-ს წარმადობა მუშა საკნის ხურების ფართის ანუ დიამეტრის კვადრატის პროპორციულია).

ზოგადად თამტ-ს ახალი მოდიფიკაციის დამუშავების მოცემული ეტაპის მთავარი შედეგია მისი ქმედითუნარიანობისა და ბრტყელ ჰელიოკოლექტორიანი ცხელი წყლის მომარაგების სიტემის ფუნქციონირებისათვის საჭირო პარამეტრების მიღწევადობის დადგენა, რაც სრულფასოვან საფუძველს ქმნის პერსპექტივაში კონსტრუქციის დახვეწის, ოპტიმიზაციისა და სამრეწველო მასშტაბში რეალიზაციისათვის.

ძირითადი დასკვნები:

შეიქმნა თბურამპრავიანი მემბრანული ტუმბოს (თამტ-ს) ახალი მოდიფიკაციის ექსპერიმენტული მოდელი, ჩატარდა მასში მიმდინარე თერმო-ჰიდროდინამიკური პროცესების თეორიული და ექსპერიმენტალური გამოკვლევა, თერმოდინამიკური ციკლის კომპიუტერული მოდელირების ჩათვლით, გამოვლინდა და შეფასდა თამტს ახალი მოდიფიკაციის ქმედითუნარიანობა და ბრტყელ ჰელიოკოლექტორზე დაფუძნებული ცხელი წყლის მომარაგების სისტემის შემადგენლობაში ეფექტიანი ფუნქციონირების პერსპექტივა.

დაზუსტდა თამტ-ს თერმოდინამიკური ციკლი, გადახურებულ ზედაპირზე სითხის დგუმის დაჯახების თავისებურებების გათვალისწინებით. დამუშავდა ციკლის კომპიუტერული მოდელი, რომელიც მუშა აგენტის როლში სხვადასხვა ნივთიერებების გამოყენების შედარებითი ანალიზის საშუალებას იძლევა.

შეიქმნა ექსპერიმენტული სტენდები, დამუშავდა შესაბამისი ექსპერიმენტალური მეთოდები და გამოკვლევულ იქნა თამტ-ს ახალი მოდიფიკაციის ექსპერიმენტული მოდელის მუშა საკანში მიმდინარე თერმო-ჰიდროდინამიკური პროცესები, იმ ძირითადი თავისებურების ფონზე, რომ მუშა აგენტის ორთქლის კონდენსაცია ორსიჩქარიან რეჟიმში ხორციელდება და მემბრანა მუშა საკნიდან არის გატანილი. კერძოდ, შესწავლილია მუშა საკნის ფუნქციონირება როგორც ჩაკეტილ პულსაციურ, ასევე გადატუმბვის რეჟიმებში.

მუშა საკნის ფუნქციონირების ჩაკეტილი პულსაციური რეჟიმების შესწავლის შედეგად დადასტურდა თხევადდგუმიანი მუშა საკნის თვითგაშვებადობა და ქმედითუნარიანობა, შესაძლებელი გახდა თამტ-ს ახალი მოდიფიკაციის წარმადობის წინასწარი შეფასება.

მუშა საკნის ტუმბოს რეჟიმში ფუნქციონირების შესწავლის შედეგად დადგინდა თამტ-ს მარგი ქმედების კოეფიციენტისა (მქკ) და დაწნევის დამოკიდებულების ექსპერიმენტალური მრუდი და წარმადობის რეალიზებადი დიაპაზონი. თამტ-ს ახალი მოდიფიკაციის მოდელის მქკ-სა

და წარმადობის დადგენილი დონეები ადასტურებს ახალი მოდიფიკაციის პერსპექტიულობას ბრტყელ ჰელიოკოლექტორიანი ცხელი წყლის მომარაგების სიტემის ეფექტურობისა და ავტონომიურობის ამაღლების ამოცანის გადაწყვეტის კონტექსტში.

მთლიანობაში სამუშაოში მიღებული შედეგები სრულფასოვან საფუძველს ქმნის პერსპექტივაში კონსტრუქციის დახვეწის, ოპტიმიზაციისა და სამრეწველო მასშტაბში რეალიზაციისათვის.

ლიტერატურა

- [1]Suleimani ZAl, Rao NR. Wind-powered electric water-pumping system installed in a remote location. Applied Energy 2000;65:339–47.
- [2]Lara D D, Merino G G, Pavez B J, Tapia J A. Efficiency assessment of a wind pumping system. Energy Conversion and Management 2011;52:795–803.
- [3]Panda RK, Sarkar TK, Bhattacharya AK. Cost estimate of chance-constrained windmill irrigation system. Energy in Agriculture 1988;6:311–24.
- [4]Sinha C S, Kandpal T C. Wind mill-irrigation in India. Energy 1991;16:867–74.
- [5]Shi J, Shen D, Wei J. The development of wind pumping technology in China. Biomass 1989;20:13–23.
- [6]Harries M. Disseminating wind pumps in rural Kenya—meeting rural water needs using locally manufactured wind pumps. Energy Policy 2002;30:1087–94.
- [7]Mohsen MS, Akash BA. Potentials of wind energy development for water pumping in Jordan. Renewable Energy 1998;14:441–6.
- [8]Badran O. Wind turbine utilization for water pumping in Jordan. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics 2003;91:1203–14.
- [9]Suleimani ZAl, Rao NR. Wind-powered electric water-pumping system installed in a remote location. Applied Energy 2000;65:339–47.
- [10]Martin B. Long time measurements of noise from wind turbines. Journal of Sound and Vibration 2004;277:567–72.
- [11]Oerlemans S, Sijtsmaa P, Mendez LB. Location and quantification of noise sources on a wind turbine. Journal of Sound and Vibration 2007;299:869–83.
- [12]Moller B. Changing wind power landscapes: regional assessment of visual impact on land use and population in northern Jutland, Denmark. Applied Energy 2006;83:477–94.
- [13]Ian DB, David RM. Visual assessment of off-shore wind turbine: the influence of distance, contrast, movement and social variables. Renewable Energy 2007;32:814–83.
- [14]Leung DYC, Yang Y. Wind energy development and its environmental impact: a review. Renewable and Sustainable Energy Reviews 2012;16:1031–9.
- [15]Saidur R, Rahim NA, Islam MR, Solangi KH. Environmental impact of wind energy. Renewable and Sustainable Energy Reviews 2011;15:2423–30.

- [16]Katsaprakakis DA. A review of the environmental and human impacts from wind parks. A case study for the Prefecture of Lasithi, Crete. Renewable and Sustainable Energy Reviews 2012;16:2850–63.
- [17]Smulders P T, de Jongh I Jan. Wind water pumping: status, prospects and barriers. Renewable Energy 1994;5:587–94.
- [18]Adaramola MS, Krogstad P A. Experimental investigation of wake effects on wind turbine performance. Renewable Energy 2011;36:2078–86.
- [19]Tripathi AK, Iyer P V R, Kandpalh. T C. A financial evaluation of biomass-gasifier-based power generation in India. Bio resource Technology 1997;61:53–9.
- [20]Purohit P, Kandpal T C. Techno-economics of biogas-based water pumping in India: an attempt to internalize CO₂ emissions mitigation and other economic benefits. Renewable and Sustainable Energy Reviews 2007;11:1208–26.
- [21]Purohit P. Financial evaluation of renewable energy technologies for irrigation water pumping in India. Energy Policy 2007;35:3134–44.
- [22]Kumar A, Kandpal TC. Renewable energy technologies for irrigation water pumping in India: a preliminary attempt towards potential estimation. Energy 2007;32:861–70.
- [23]Purohit P, Kandpal T C. Techno-economics of biogas-based water pumping in India: an attempt to internalize CO₂ emissions mitigation and other economic benefits. Renewable and Sustainable Energy Reviews 2007;11:1208–26.
- [24]Habib MA, Said SAM, El-Hadidy MA, Al-Zaharna I. Optimization procedure of a hybrid photovoltaic wind energy system. Energy 1999;24:919–29.
- [25]Vick B D, Neal B A. Analysis of off-grid hybrid wind turbine/solar PV water pumping systems. Solar Energy 2012;86:1197–207.
- [26]Delgado-Torres AM. Solar thermal heat engines for water pumping: an update. Renewable and Sustainable Energy Reviews 2009;13:462–72.
- [27]Parida B, Iniyam S, Goic R. A review of solar photovoltaic technologies. Renewable and Sustainable Energy Reviews 2011;15:1625–36.
- [28]Krauter S, Ruther R. Considerations for the calculation of greenhouse gas reduction by photovoltaic solar energy. Renewable Energy 2004;29:345–55.
- [29]Pande PC, Singh AK, Ansari S, Vyas SK, Dave BK. Design development and testing of a solar PV pump based drip system for orchards. Renewable Energy 2003;28:385–96.

- [30]Bhave AG. Potential for solar water-pumping systems in India. Applied Energy1994;48:197–200.
- [31]Chaurey A, Sadaphal PM, Tyaqi D. Experiences with SPV water pumping systems for rural applications in India. Renewable Energy 1993;3:961–4.
- [32]Ghosh D, Shukla PR, Garg A, Ramana VP. Renewable energy technologies for the Indian power sector: mitigation potential and operational strategies. Renewable and Sustainable Energy Reviews 2002;6:481–512.
- [33]Bahadori MN. Solar water pumping. Solar Energy 1978;21:307–16.
- [34]Pytlinski JT. Solar energy installations for pumping irrigation water. Solar Energy1978;21:255–62.
- [35]Spencer LLCC. A comprehensive review of small solar-powered heat engines. Part I. A history of solar powered devices up to 1950. Solar Energy 1989;43:191–6.
- [36]Smulders PT, Jongh J. Wind water pumping: status, prospects and barriers. Renewable Energy 1994;5:587–94.
- [37]Ramadhas AS, Jayaraj S, Muraleedharan C. Power generation using coir-pith and wood derived producer gas in diesel engines. Fuel Processing Technology2006;87:849–53.
- [38]Kamel K, Dahl C. The economics of hybrid power systems for sustainable desert agriculture in Egypt. Energy 2005;30:1271–81.
- [39]Zhou W, Chengzhi L, Zhongshi L, Lin L, Hongxing Y. Current status of research on optimum sizing of stand-alone hybrid solar–wind power generation systems. Applied Energy 2010;87:380–9.
- [40]Malhotra K S. Potential for pumping irrigation water with renewable sources of energy in Indian arid zone. Energy in Agriculture 1984;3:245–51.
- [41]Short TD, Oldach R. Solar powered water pumps: the past, the present and the future. ASME Solar Energy Energy 2003;125:76–82.
- [42]Wong YW, Sumathy K. Solar thermal water pumping systems: a review. Renewable and Sustainable Energy Reviews 1999;3:185–217.
- [43]Sherwani AF, Usmani JA, Varun. Life cycle assessment of solar PV based electricity generation systems: a review. Renewable and Sustainable Energy Reviews2010;14:540–4.
- [44]Ghoneim AA. Design optimization of photovoltaic powered water pumping systems. Energy Conversion and Management 2006;47:1449–63.

- [45]Raugei M, Frankl P. Life cycle impacts and costs of photovoltaic systems current state of the art and future outlooks. Energy 2004;34:392–9.
- [46]Ito M, Komoto K, Kurokawa K. Life-cycle analyses of very-large scale PV systems using six types of PV modules. Current Applied Physics 2010;10: S271–S273.
- [47]Raugei M, Bargigli S, Ulgiati S. Life cycle assessment and energy pay-back time of advanced photovoltaic modules: CdTe and CIS compared to poly-Si. Energy 2007;32:1310–8.
- [48]Kato K, Hibino T, Komoto K, Ihara S, Yamamoto S, Fujihara. H. A life-cycle analysis on thin-film CdS/CdTe PV modules. Solar Energy Materials & Solar Cells 2001;67:279–87.
- [49]Pacca S, Sivaraman D, Keoleian GA. Parameters affecting the life cycle performance of PV technologies and systems. Energy Policy 2007;35:3316–26.
- [50]Sherwani AF, Usmani JA. Varun, Life cycle assessment of solar PC based electricity generation systems: a review. Renewable and Sustainable Energy Reviews 2010;14:540–4.
- [51]Wurfel P. Thermodynamic limitations to solar energy conversion. Physica E:Low-dimensional Systems and Nanostructures 2002;14:18–26.
- [52]Short TD, Thompson P. Breaking the mould: solar water pumping—the challenges and the reality. Solar Energy 2003;75:1–9.
- [53]Sharma NK, Tiwari PK, Sood YR. Solar energy in India: strategies, policies, perspectives and future potential. Renewable and Sustainable Energy Reviews 2012;16:933–41.
- [54]Purohit P, Kandpal TC. Solar photovoltaic water pumping in India: a financial evaluation. International Journal of Ambient Energy 2005;26:135–46.
- [55]Mbewe DJ, Card HC, Card DC. A model of silicon solar cells for concentrator photovoltaic and photovoltaic thermal system design. Solar Energy 1985;35:247–58.
- [56]Mani M, Pillai R. Impact of dust on solar photovoltaic (PV) performance: research status, challenges and recommendations. Renewable and Sustainable Energy Reviews 2010;14:3124–31.
- [57]Mekhilef S, Saidur R, Kamalisarvestani M. Effect of dust, humidity and air velocity on efficiency of photovoltaic cells. Renewable and Sustainable Energy Reviews 2012;16:2920–5.

- [58]Kempe MD. Modeling of rates of moisture ingress into photovoltaic modules. Solar Energy Materials and Solar Cells 2006;90:2720–38.
- [59]Sumathy K, Venkatesh A, Sriramulu V. Thermodynamic analysis of a solar thermal water pump. Solar Energy 1996;57:155–61.
- [60]Sumathy K, Venkatesh A, Sriramulu V. A solar thermal water pump. Applied Energy 1996;53:235–43.
- [61]Wong YW, Sumathy K. Performance of a solar water pump with ethyl ether as working fluid. Renewable Energy 2001;22:389–94.
- [62]Wong YW, Sumathy K. Thermodynamic analysis and optimization of solar thermal water pump. Applied Thermal Engineering 2001;21:613–27.
- [63]Wong YW, Sumathy K. Performance of a solar water pump with n-pentane and ethyl ether as working fluids. Energy Conversion and Management 2000;41:915–27.
- [64]Fenton DL, George H, Abernt V, Gary A, Karvo K. Operation and evaluation of the Willard Solar thermal power irrigation system. Solar Energy 1984;32:735–51.
- [65]Spindler K, Chandwalker K, Hahne E. Small solar (thermal) water pumping system. Solar Energy 1996;57:69–76.
- [66]Rao DP, Rao KS. Solar water pump for lift irrigation. Solar Energy 18 1976:405–11.
- [67]Prasad UAR, Maiya MP, Murthy SS. Parametric studies on a heat operated metal hydride based water pumping system. International Journal of Hydro- gen Energy 2003;28:429–36.
- [68]Das D, Gopal MR. Studies on a metal hydride based solar water pump. International Journal of hydrogen Energy 2004;29:103–12.
- [69]Sudhakar K, Krishna MM, Rao DP, Soin RS. Analysis and simulation of solar water pump for lift irrigation. Solar Energy 1980;24:71–82.
- [70]Muthukumar P, Groll M. Metal hydride based heating and cooling systems: a review. International Journal of Hydrogen Energy 2010;35:3817–31.
- [71]Mohanraj M, Jayaraj S, Muraleedharan C. Environment friendly alternatives to halogenated refrigerants—a review. International Journal Green House Gas Emission and Control 2009;3:108–19.
- [72]T.D. Short, Solar Powered Water Pumps: The Past, the Present—and the Future? Journal of Solar Energy Engineering, 2003, vol. 125, # 2, pp. 76-82.

[73]S.A, Kalogirou. Solar Thermal Collectors and Applications. Progress in Energy and Combustion Science, 2004, vol. 30, # 3, pp. 231-295.

[74]D. Rojas, J. Beermann, S.A. Klein, D.T. Reindl. Thermal Performance Testing of Flat-Plate Collectors. Solar Energy, 2008. Vol. 82, # 8, pp. 746–757.

[75]C. Gopal, M.Mohanraj, P.Chandramohan, P.Chandrasekar, Renewable Energy Source Water Pumping Systems—A Literature Review, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 25, 2013, pp. 351–370.

[76]I.G. Shekriladze, E.S. Machavariani, J.G. Rusishvili, E. El-Negiri, D.I. Shekriladze. Solar Powered Membrane Pump on the Basis of Pulsating Heat Pipe. Proc. of 9th Int. Heat Pipe Conf., Albuquerque, USA, 1995, vol.2, pp., 811-815.

[77]И.Г. Шекриладзе Имплантируемое искусственное сердце // Заявка № 3793346/13(118515). МКИ F 04 в 17/00.

[78] Э. Эль Негири. Тепловые процессы в испарительно-конденсационном пульсационном отсеке нагнетательного устройства с тепловым приводом. Автореферат дисс. канд. технич. наук.Тбилиси. 1993

[79] დ.ო. შეკრილაძე, აორთქლებისა და კონდენსაციის პროცესების გამოკვლევა მემბრანული ტიპის ჰელიოტუმბოში. დისერტაცია ტექნიკის მეცნიერებათა კანდიდატის სამეცნიერო ხარისხის მოსაპოვებლად. 2006 წ.

[80]Г.В. Ратиани, Ш.А. Мествиришвили, И.Г. Шекриладзе, Анализ двух случаев испарения с поверхности тонких ламинарных пленок //Сообщ. АН ГССР. 1969. Т. 55.№ 3. С. 645 – 649.

[81]В.А. Дюндин, Г.Н. Данилова, Теплообмен при кипении хладагентов на поверхностях с пористыми покрытиями // Теплообмен и гидродинамика. Л.: Наука. 1977. С. 15 – 30.

[82]M., Potash Jr., P.C. Wayner, Jr., Evaporation From a Two-Dimensional Extended Meniscus, Int. J. Heat Mass Transfer, Vol.15, No 7, 1972, pp. 1851-1863.

[83] I. G. Shekriladze, D.G. Rusishvili, Heat Transfer in Condensation on Capillary Surfaces, Heat Transfer- Sov. Res., Vol. 12, No 1, 1980, pp. 48-49.

[84] I.G. Shekriladze, D.G. Rusishvili, Experimental Investigation of Heat Transfer During Evaporation and Condensation on Capillary Surfaces, J. Engineering Physics, Vol. 38, No 5, 1980, pp. 793-799.

[85]L.L. Vasiliev, S. V. Konev, Experimental Study of Heat Transfer during Boiling in Capillary Structures of High Conductivity, J. Engineering Physics, Vol. 42, No 6, 1982, pp. 893-898.

[86]I.G. Shekriladze, E.S. Machavariani, J.G. Rusishvili, D.I. Shekriladze, K.A. Goncharov, A.N. Tarabrin. Solar powered water pumping system on the basis of LHP and TPMP. Proc. of 5th Int. Heat Pipe Symp., Melbourne, Australia, Pergamon Press, 1997, pp. 418-423.

[87]I.G. Shekriladze, E.S. Machavariani, G.I. Gigineishvili, J.G. Rusishvili, D.I. Shekriladze, Flat-Plate Collector with Solar-Powered Pump and Problem of Boiling on Downward-Facing Surface, WSEAS Transactions on Heat and Mass Transfer, 2009, vol. 4, # 4, pp. 108-117.

[88]I. Shekriladze, E. Machavariani, G. Gigineishvili, J. Rusishvili, D. Shekriladze, M. Meparishvili. Solar-Powered Steam Engine-Pump: Achieved Performance and Prospects for Further Development. Proc. of Int. Conf. Basic Paradigms in Science and Technology Development for the 21st Century. Tbilisi, Georgia, September 19-21, 2012. v.1, pp. 190-197.

[89] I. Shekriladze, E. Machavariani, G. Gigineishvili, J. Rusishvili, D. Shekriladze, M. Meparishvili. Solar-Powered Steam Engine-Pump: Achieved Performance and Prospects for Further Development. Proc. of Int. Conf. Basic Paradigms in Science and Technology Development for the 21st Century. Tbilisi, Georgia, September 19-21, 2012. v.1, pp. 193.

[90] დიაფრაგმული ტუმბო. საქართველოს პატენტი № P-5606, 2011.

[91]S. Yatsuzuka, Y. Niiyama, K. Fukuda, Y. Hagiwara, K. Nishizawa, N. Shikazono, A Liquid-Piston Steam Engine, Proceedings of the ASME 2011 Power Conference (POWER 2011) and the International Conference on Power Engineering 2011 (ICOPE-11), July 12-14, 2011, Denver, Colorado, USA, 7 pages.

[92]R. Shukla, K. Sumathy, Ph. Erickson, J. Gong, Recent Advances in the Solar Water Heating Systems: A Review, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 19, 2013, pp. 173–190.

[93] Y. Kobayashi CONCEPT OF Heat pipe ENGINE //PROC.17TH IECEC. No829192.P.1128-1133.

დანართი 1 კომპიუტერული მოდელი

(ნახ.1,X1=0.09; ნახ.2,X1=0.045; ნახ.3,X1=0.135; ნახ.4,X1=0,180;

ნახ.5,X1=0,05; ნახ.6,X1=0,1)

ცხრილი 1. მუშა აგენტი წყალი.

Customer Summary

Pmax	V1PM ax	V2PM ax	H1PM ax	H2PM ax	RpMa x	X4	U2	U3	U4	V3	V4	Q1	Q11	Q21	Q2	Q12	Q22	H2	H3	H4	Tmax	Nt	Nt2
14325 0	0,0010 519	1,2106 0	46132 0	26918 00	22305 00	0,6507 8307...	64034 7,963.	23126 67,43.	17775 99,25.	1,0896 4519	1,0896 4519	18402 04,99.	33499 9992...	18067 05	18008 67,72.	53506 8,170.	12657 99,55.	66206 5	24687 70	18880 07,55.	383	0,0213 7656...	0,0261 0966...
16905 0	0,0010 562	1,0369 0	48250 0	26993 00	22168 00	0,5573 2680...	65638 5,411.	23198 42,99.	15824 89,85.	0,9333 1562	0,9333 1562	18451 45,44.	49537 4475...	17956 08	17922 03,19.	73735 3,141.	10548 50,05.	68201 2	24776 20	16770 58,05.	388	0,0286 9272...	0,0386 5979...
19854 0	0,0011 0606	0,8920 2	50370 0	27066 00	22029 00	0,4793 7939...	67186 3,970.	23268 96,55.	14197 58,43.	0,8029 28606	0,8029 28606	18493 65,00.	65016 0063...	17843 49	17860 45,29.	90713 8,121.	87890 7,174.	70196 1	24863 10	15011 15,17.	393	0,0342 3862...	0,0508 9058...
23209 0	0,0010 652	0,7706 7	52500 00	27138 00	21888 00	0,4140 8651...	68680 9,066.	23339 16,95.	12834 45,95.	0,6937 0952	0,6937 0952	18528 89,10.	79961 1025...	17729 28	17819 99,07.	10504 71,00.	73152 8,072.	72199 2	24949 20	13537 36,07.	398	0,0382 5918...	0,0628 1407...
27012 0	0,0010 7	0,6685 1	54630 0	27207 00	21744 00	0,3591 2123...	70104 8,031.	23407 10,96.	11686 94,50.	0,6017 66	0,6017 66	18554 64,06.	94200 0676...	17612 64	17794 76,90.	11720 16,46.	60746 0,440.	74199 6	25032 60	12296 68,44.	403	0,0409 5318...	0,0744 4168...
36136 0	0,0010 801	0,5087 5	58910 0	27340 00	21449 00	0,2731 6549...	72736 1,799.	23540 13,25.	98924 4,036.	0,4579 8301	0,4579 8301	18578 82,83.	12051 3,834...	17373 69	17782 10,38.	13647 69,22.	41344 1,165.	78214 1	25195 10	10356 49,16.	413	0,0428 8346...	0,0968 5230...
47597 0	0,0010 908	0,3926 1	63220 0	27463 00	21141 00	0,2106 7885...	75031 5,866.	23666 54,55.	85879 0,168.	0,3534 5808	0,3534 5808	18558 88,90.	14346 7,902.	17124 21	17802 60,69.	15078 64,38.	27239 6,308.	82246 9	25348 90	89460 4,308.	423	0,0407 5039...	0,1182 0330...
61004 0	0,0010 22	0,3068 5	67550 0	27577 00	20822 00	0,1645 3293.	77042 0,958.	23809 45,95.	76245 0,962.	0,2762 672	0,2762 672	18501 54,99.	16357 2,994.	16865 82	17867 30,73.	16184 94,99.	16823 5,736.	86289 8	25494 80	79044 3,736.	433	0,0342 8051...	0,1385 6812...
79202 0	0,0011 45	0,2425 9	71910 00	27680 00	20489 00	0,1296 6621...	78343 7,288.	23900 96,79.	69028 5,743.	0,2184 455	0,2184 455	18361 98,32.	17658 9,324.	16596 09	17900 22,78.	16998 11,05.	90211 7338...	90350 1	25631 10	71241 9,733.	443	0,0251 4735...	0,1580 1354...
10027 00	0,0011 275	0,1938 1	76310 00	27771 00	20140 00	0,1037 1986...	79235 8,935.	24006 86,98.	63549 1,026.	0,1745 4175	0,1745 4175	18168 50,97.	18551 0,971...	16313 40	17961 64,43.	17651 95,96.	30968 4690...	94436 0	25757 00	65317 6,469.	453	0,0113 8593...	0,1766 0044...

ნახაზი 1. მარგი ქმედების კოეფიციენტის დამოკიდებულება წნევაზე

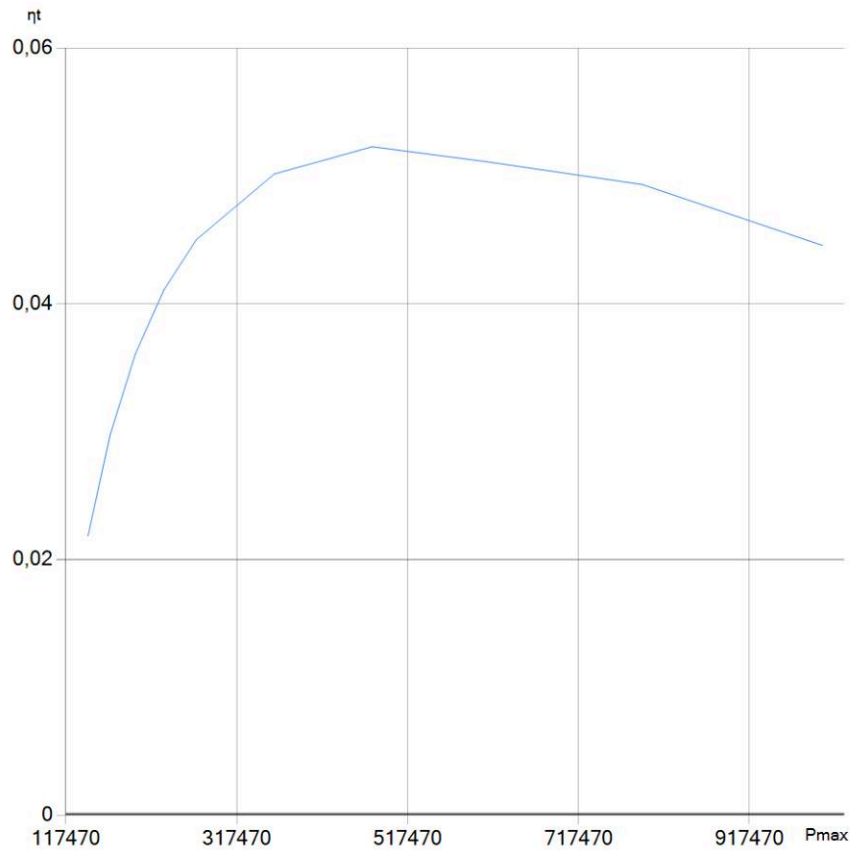


ცხრილი 2. მუშა აგენტი წყალი.

Customer Summary

Pmax	V1Pmax	V2Pmax	H1Pmax	H2Pmax	RpMax	X4	U2	U3	U4	V3	V4	Q1	Q11	Q21	Q2	Q12	Q22	H2	H3	H4	Tmax	Nt	Nt2
143260	0,0010519	1,21060	461320	2691800	2230500	0,65078307	550759,221	2312667,43	1777599,25	1,08964519	1,08964519	1944935,61	378581158	1907077,5	1902441,72	535068,170	1367373,55	561692,5	2468770	1888007,55	383	0,02184847	0,02610966
169050	0,0010562	1,03690	482500	2699300	2216800	0,55732680	569354,487	2319842,99	1582489,85	0,93331562	0,93331562	1951817,38	564533814	1895364	1893777,19	737353,141	1156424,05	582256	2477620	1677058,05	388	0,02973648	0,03865979
198540	0,00110606	0,89202	503700	2706600	2202900	0,47937939	587678,377	2326896,55	1419758,43	0,802928606	0,802928606	1958256,77	747772715	1883479,5	188768,121	907138,121	980481,174	602830,5	2486310	150115,17	393	0,03607161	0,05089058
232090	0,0010652	0,77067	525000	2713800	2188800	0,41408651	605783,417	2333916,95	1283445,95	0,69370952	0,69370952	1964306,31	928823115	1871424	1883573,07	1050471,00	833102,072	623496	2494920	1353736,07	398	0,04110012	0,06281407
270120	0,00107	0,65851	546300	2720700	2174400	0,35912123	623533,053	2340710,96	1168694,50	0,601766	0,601766	1969743,94	110631,948	1859112	1881050,90	1172016,46	709034,440	644148	2503260	1229668,44	403	0,04502770	0,07444168
361360	0,0010801	0,50875	589100	2734000	2144900	0,27316549	658042,323	2354013,25	989240,36	0,45798301	0,45798301	1979030,71	145141,218	1833889,5	1879784,38	1364722,5	515015,165	685620,5	2519510	1035649,16	413	0,05014895	0,09685230
475970	0,0010908	0,39261	632200	2746300	2114100	0,21067885	691009,548	2366654,55	858790,168	0,35345808	0,35345808	1985663,94	178108,442	180755,5	1881834,69	1507864,38	373970,308	727334,5	2534890	894604,308	423	0,05228943	0,11820330
610040	0,001022	0,30685	675500	2757700	2082200	0,16453293	722642,129	2380945,95	762450,962	0,2762672	0,2762672	1990022,02	209741,024	1780281	1888304,73	1618494,99	269809,736	769199	2549480	790443,736	433	0,05111365	0,13856812
792020	0,001145	0,24259	719100	2768000	2048900	0,12996621	750855,328	2390096,79	690285,743	0,2184455	0,2184455	1989763,72	237954,223	1751809,5	1891596,78	1699811,05	191785,733	811300,5	2563110	712419,733	443	0,04933597	0,15801354
1002700	0,0011275	0,19381	763100	2777100	2014000	0,10371986	777206,208	2400686,98	635491,026	0,17454175	0,17454175	1986275,10	264305,102	1721970	1897738,43	1765195,96	132542,469	853730	2575700	653176,469	453	0,04457422	0,17660044

ნახაზი 2. მარგიკმელების კოეფიციენტის დამოკიდებულება წნევაზე

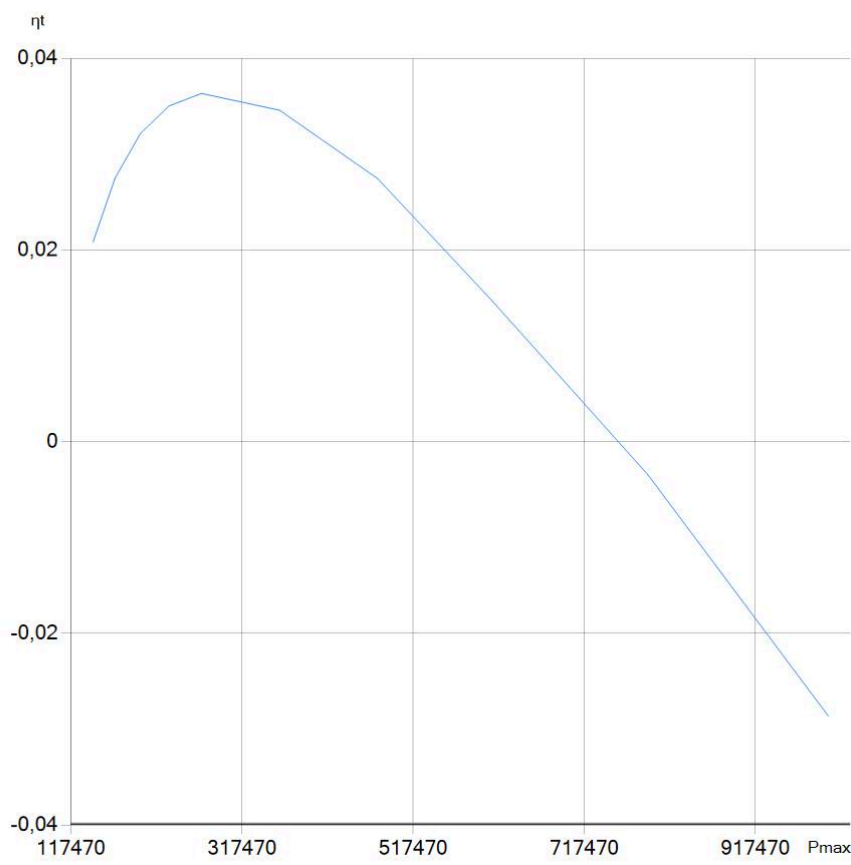


ცხრილი 3. მუშა აგენტი წყალი.

Customer Summary

Pmax	V1PM _{ax}	V2PM _{ax}	H1PM _{ax}	H2PM _{ax}	RpMa _x	X4	U2	U3	U4	V3	V4	Q1	Q11	Q21	Q2	Q12	Q22	H2	H3	H4	Tmax	Nt	Nt2
143260	0,0010519	1,21060	461320	2691800	2230500	0,65078307	7299367,05	2312667,43	1777599,25	1,08964519	1,08964519	1735474,38	291418826,32	1706332,5	1699293,72	535068,170	1164225,55	762437,5	2468770	1888007,55	383	0,02084770	0,02610966
169050	0,0010562	1,03690	482500	2699300	2216800	0,55732680	743416,336	2319842,99	1582489,85	0,93331562	0,93331562	1738473,51	426215136,52	1695852	1690629,19	737353,141	953276,058	781768	2477620	1677058,05	388	0,02752087	0,03865979
198540	0,00110605	0,89202	503700	2706600	2202900	0,47937939	756049,563	2326896,55	1419758,43	0,802928606	0,802928606	1740473,24	552547412,18	1685218,5	1684471,29	907138,121	777333,174	801091,5	2486310	1501115,17	393	0,03217627	0,05089058
232090	0,00100652	0,77067	525000	2713800	2188800	0,41408651	767834,716	2333916,95	1283445,95	0,69370952	0,69370952	1741471,89	670398935,32	1674432	1680425,07	1050471,00	629954,072	820488	2494920	1353736,07	398	0,03505472	0,06281407
270120	0,00107	0,66851	546300	2720700	2174400	0,35912123	778563,009	2340710,96	1168694,50	0,601766	0,601766	1741184,18	777681872,16	1663416	1677902,90	1172016,46	505886,440	839844	2503260	1229668,44	403	0,03634381	0,07444168
361360	0,0010801	0,50875	589100	2734000	2144900	0,27316549	796681,274	2354013,25	9892413,25	0,45794036	0,45794036	173678301	958864515,48	164088,5	1676636,38	136479,22	311867,165	878661,5	2519510	1035649,16	413	0,03460433	0,09685230
475970	0,0010908	0,39261	632200	2746300	2114100	0,21067885	809622,184	2366654,55	858790,168	0,35345808	0,35345808	1726113,86	108827,362	1617286,5	1678686,69	1507864,38	170823,308	917603,5	2534890	894604,308	423	0,02747626	0,11820330
610040	0,001022	0,30685	675500	2757700	2082200	0,16453293	818199,787	2380945,95	762450,962	0,2762672	0,2762672	1710287,96	117404,964	1592883	1685156,73	1174094,99	159287,7	1618499	9565980	790443,736	433	0,01469415	0,13856812
792020	0,0011045	0,24259	719100	2768000	2048900	0,12996621	816019,248	2390096,79	690285,743	0,2184455	0,2184455	1682632,92	115224,425	1567408,5	1688448,78	1699811,05	-1136...	995701,5	2563110	712419,733	443	-	0,15801354
1002700	0,0011275	0,19380	763100	2777100	2014000	0,10371986	807511,661	2400686,98	635491,026	0,17454175	0,17454175	1647426,83	106716,839	1540710	1694590,43	1765195,96	-7060...	1034990	2575700	653176,469	453	-	0,17660044

ნახაზი 3. მარგიქმედების კოეფიციენტის დამოკიდებულება წნევაზე

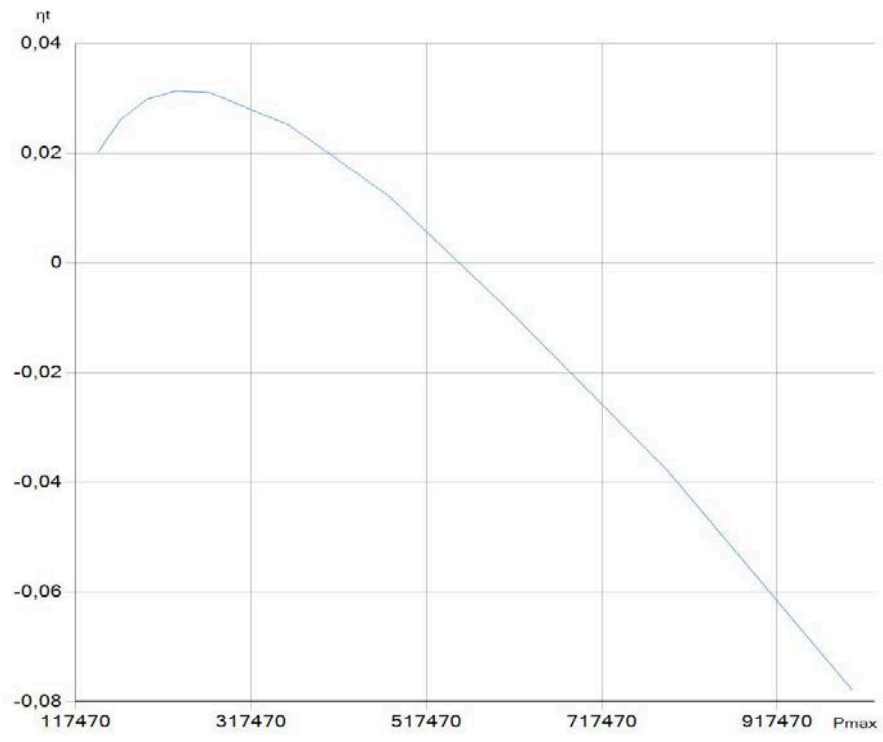


ცხრილი 4. მუშა აგენტი წყალი.

Customer Summary

Pmax	V1PM	V2PM	H1PM	H2PM	RpMa	X4	U2	U3	U4	V3	V4	Q1	Q11	Q21	Q2	Q12	Q22	H2	H3	H4	Tmax	Nt	Nt2
143260	0,0010519	1,2106	461320	2691800	2230500	0,65078307	819525,447	2312667,43	1777599,25	1,08964519	1,08964519	1630743,76	247837660	1605960	1597719,72	535068,170	1062651,55	862810	2468770	1888007,55	383	0,02025090	0,02610966
169050	0,0010562	1,0369	482500	2699300	2216800	0,55732680	830447,261	2319842,99	1582489,85	0,93331562	0,93331562	1631801,57	357055797	1596096	1589055,19	737353,141	851702,058	881524	2477620	1677058,05	388	0,02619581	0,03865979
198540	0,00110606	0,89202	503700	2706600	2202900	0,47937939	840235,157	2326896,55	1419758,43	0,802928606	0,802928606	1631581,47	454934760	1586088	1582897,29	907138,121	675759,174	900224	2486310	150115,17	393	0,02983864	0,05089058
232090	0,0010652	0,77067	525000	2713800	2188800	0,41408651	848860,365	2333916,95	1283445,95	0,69370852	0,69370852	1630054,68	541186846	1575936	1578851,07	1050471,00	528380,072	918984	2494920	1353736,07	398	0,03141220	0,06281407
270120	0,00107	0,66851	546300	2720700	2174400	0,35912123	856077,988	2340710,96	1168694,50	0,601766	0,601766	1626904,30	613363067	1565568	1576328,90	1172016,46	404312,440	9376960	2503260	1229668,44	403	0,03108689	0,07444168
361360	0,0010801	0,50875	589100	2734000	2144900	0,27316549	866000,749	2354013,25	989244,036	0,45798301	0,45798301	1615587,06	712590682	1544328	1575062,38	1364769,22	210293,165	975182	2519510	1035649,16	413	0,02508356	0,09685230
475970	0,0010908	0,39261	632200	2746300	2114100	0,21067885	868928,503	2366654,55	858790,168	0,35345808	0,35345808	1596338,82	741868218	1522152	1577112,69	1507864,38	692483088	1012738	2534890	894604,308	423	0,01204388	0,11820330
610040	0,001022	0,30685	675500	2757700	2082200	0,16453293	865978,615	2380945,95	762450,962	0,2762672	0,2762672	1570420,93	712369343	1499184	1583582,73	1618494,99	-349196	1050280	2549480	790443,736	433	-0,008	0,13856812
792020	0,001145	0,24259	719100	2768000	2048900	0,12996621	848601,208	2390096,79	690285,743	0,2184455	0,2184455	1529067,52	538595273	1475208	1586874,78	1699811,05	-112902	1087910	256319	712419,733	443	-0,037	0,15801354
1002700	0,0011275	0,19381	763100	2777100	2014000	0,10371986	822664,388	2400686,98	635491,026	0,17454175	0,17454175	1478002,70	279227071	1450080	1593016,43	1765195,96	-172100	1125620	2575710	653176,469	453	-0,077	0,17660044

ნახაზი 4. მარგინების კოეფიციენტის დამოკიდებულება წნევაზე

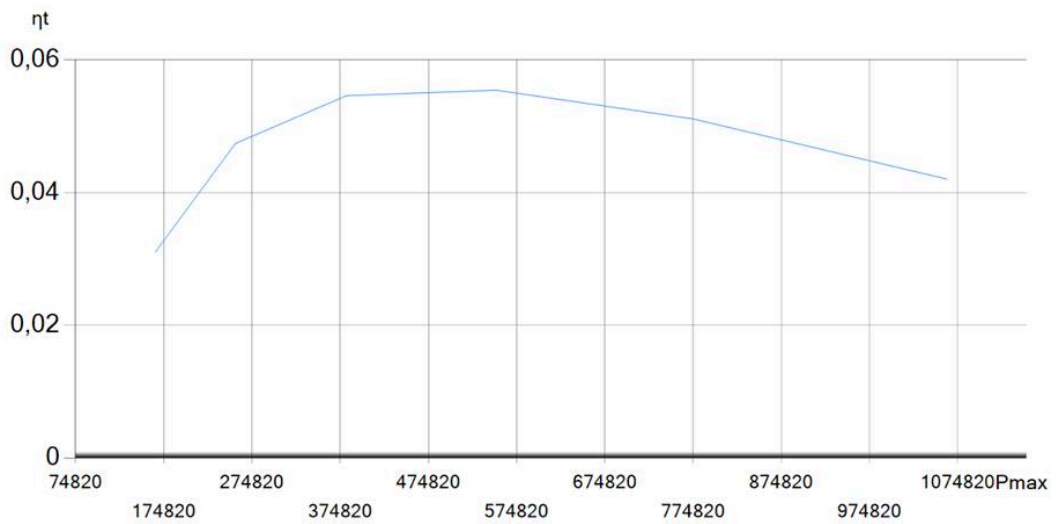


ცხრილი 5. მუშა აგენტი ამიაკი.

Customer Summary

Pmax	V1P Max	V2P Max	H1P Max	H2P Max	Rp Max	X4	U2	U3	U4	V3	V4	Q1	Q11	Q21	Q2	Q12	Q22	H2	H3	H4	Nt	Nt2
165360	0,0014...	0,70972	854000	21920...	13380...	0,5750...	91149...	19525...	15300...	0,6388...	0,6388...	11772...	39928...	11373...	11406...	42246...	71822...	920900	20582...	15956...	0,0310...	0,04
255900	0,0015...	0,47141	899500	22070...	13075...	0,3815...	95031...	19676...	12874...	0,4244...	0,4244...	11901...	78752...	11113...	11337...	68022...	45355...	964875	20762...	13309...	0,0473...	0,0769...
381900	0,0015...	0,3232	945700	22190...	12733...	0,2612...	98763...	19805...	11364...	0,2910...	0,2910...	11983...	11607...	10823...	11329...	84403...	28894...	10093...	20916...	11663...	0,0545...	0,1111...
551800	0,0015...	0,2279	992100	22300...	12370...	0,1838...	10225...	19921...	10394...	0,2052...	0,2052...	12024...	15099...	10514...	11357...	95268...	18310...	10539...	21054...	10605...	0,0554...	0,1428...
775300	0,0016...	0,1646	10396...	22400...	12004...	0,1324...	10555...	20049...	97499...	0,1483...	0,1483...	12042...	18394...	10203...	11427...	10299...	11280...	10996...	21199...	99020...	0,0510...	0,1724...
10624...	0,0016...	0,1213	10873...	22460...	11587...	0,0973...	10847...	20139...	93090...	0,1093...	0,1093...	11981...	21322...	984895	11477...	10830...	64718...	11452...	21301...	94211...	0,0420...	0,2

ნახაზი 5. მარგექმედების კოეფიციენტის დამოკიდებულება წნევაზე

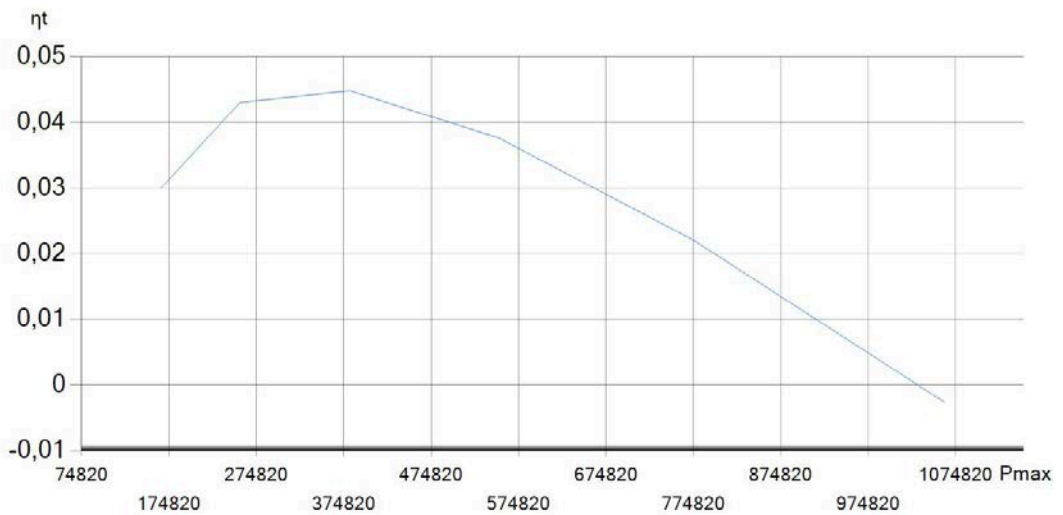


ცხრილი 6. მუშა აგენტი ამიაკი.

Customer Summary

Pmax	V1P Max	V2P Max	H1P Max	H2P Max	Rp Max	X4	U2	U3	U4	V3	V4	Q1	Q11	Q21	Q2	Q12	Q22	H2	H3	H4	Nt	Nt2
165360	0,0014...	0,70972	854000	21920...	13380...	0,5750...	96922...	19525...	15300...	0,6388...	0,6388...	11053...	34948...	10704...	10722...	42246...	64982...	987800	20582...	15956...	0,0299...	0,04
255900	0,0015...	0,47141	899500	22070...	13075...	0,3815...	10015...	19676...	12874...	0,4244...	0,4244...	11132...	67229...	10460...	10653...	68022...	38515...	10302...	20762...	13309...	0,0429...	0,0769...
381900	0,0015...	0,3232	945700	22190...	12733...	0,2612...	10301...	19805...	11364...	0,2910...	0,2910...	11144...	95856...	10186...	10645...	84403...	22054...	10730...	20916...	11663...	0,0447...	0,1111...
551800	0,0015...	0,2279	992100	22300...	12370...	0,1838...	10538...	19921...	10394...	0,2052...	0,2052...	11091...	11954...	989600	10673...	95268...	11470...	11158...	21054...	10605...	0,0376...	0,1428...
775300	0,0016...	0,1646	10396...	22400...	12004...	0,1324...	10725...	20049...	97499...	0,1483...	0,1483...	10985...	13827...	960320	10743...	10299...	44404...	11596...	21199...	99020...	0,0220...	0,1724...
10624...	0,0016...	0,1213	10873...	22460...	11587...	0,0973...	10838...	20139...	93090...	0,1093...	0,1093...	10765...	14956...	926960	10793...	10830...	-36...	12031...	21301...	94211...	-0,0...	0,2

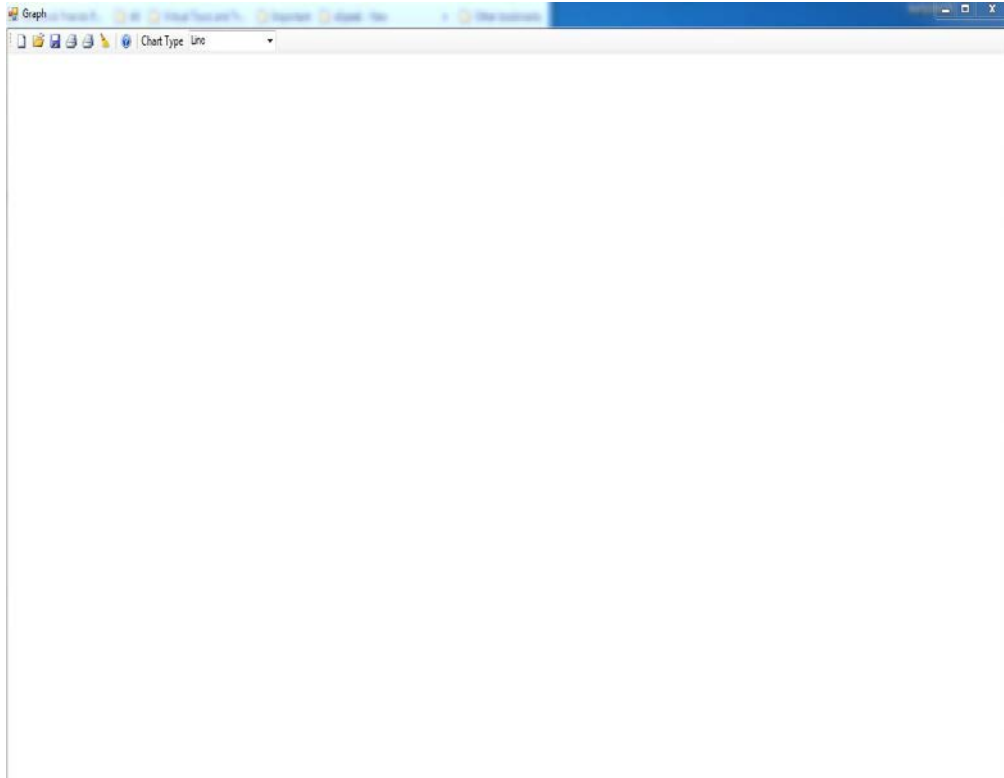
ნახაზი 6. მარგექმედების კოეფიციენტის დამოკიდებულება წნევაზე



დანართი 2

თბურამპრავიანი მემბრანული ტუმბოს (თამტ) პულსაციური საკნის დაზუსტებული რეალური თერმოდინამიკური ციკლის კომპიუტერული მოდელის საანგარიშო პროგრამა.

როგორც კი პროგრამა გაეშვება, პირველად გამოდის შემდეგი ფორმა




ნახ. 0 პროგრამის ძირითადი ინტერფეისი

სისტემის მართვის პანელი განთავსებულია მარცხენა ზედა კუთხეში საიდანაც ხდება სისტემის ფუნქციონალის მართვა



1. პარამეტრების შესაყვანი ფორმის ინტერფეისი

ბრძანება New-ს  დილაკზე დაკლიკების შემთხვევაში გამოდის ახალი ფანჯარა (იხ. ნახ. 1).

PropertiesForm

პარამეტრები

j 10

Pmin 101325

x1 0.09

x3 0.9

v'pmin 0.001043

v''pmin 1.6738

h'pmin 419060

h''pmin 2676300

rpmin 2257200

tmin 373

	PMax	VPMax	V'PMax	HPMax	H'PMax	RPMax	TMax
▶	143260	0,0010519	1,2106	461320	2691800	2230500	383
	169050	0,0010562	1,0369	482500	2699300	2216800	388
	198540	0,00110606	0,89202	503700	2706600	2202900	393
	232090	0,0010652	0,77067	525000	2713800	2188800	398
	270120	0,00107	0,66851	546300	2720700	2174400	403
	361360	0,0010801	0,50875	589100	2734000	2144900	413
	475970	0,0010908	0,39261	632200	2746300	2114100	423
	610040	0,001022	0,30685	675500	2757700	2082200	433
	792020	0,001145	0,24259	719100	2768000	2048900	443
	1002700	0,0011275	0,19381	763100	2777100	2014000	453

Ok

ნახ. 1 პარამეტრების გვერდი

სადაც ფორმა ივსება თავიდანვე ავტომატურად პროგრამის მიერ, რათა ყოველ ჯერზე არ დაგვჭირდეს მონაცემების ხელახლა ხელით შეყვანა, ასევე შესაძლებელია ახალი მონაცემების შეყვანა.

ფორმაზე შემავალი პარამეტრების აღწერა:

1. J - ელემენტების რაოდენობა
2. Pmin - ციკლის მინიმალური წნევა
3. x1- მუშა სხეულის სიმშრალის ხარისხი წერტილში 1
4. x3- მუშა სხეულის სიმშრალის ხარისხი წერტილში 3
5. v'pmin - ნაჯერობის მდგომარეობაში მყოფი მუშა სითხის კუთრი მოცულობა ციკლის მინიმალურ წნევაზე
6. v''pmin - მუშა სითხის მშრალი ნაჯერი ორთქლის კუთრი მოცულობა ციკლის მინიმალურ წნევაზე
7. h'pmin - ნაჯერობის მდგომარეობაში მყოფი მუშა სითხის ენთალპია ციკლის მინიმალურ წნევაზე
8. h''pmin - - მუშა სითხის მშრალი ნაჯერი ორთქლის ენთალპია ციკლის მინიმალურ წნევაზე

9. r_{pmin} - მუშა სითხის აორთქლების ფარული სითბო ციკლის მინიმალურ წნევაზე

10. t_{min} - ციკლის მინიმალური ტემპერატურა ცხრილის შემავალი პარამეტრების აღწერა:

1. P_{Max} - ციკლის მაქსიმალური წნევა

2. $V'P_{Max}$ - ნაჯერობის მდგომარეობაში მყოფი მუშა სითხის კუთრი მოცულობა ციკლის მაქსიმალურ წნევაზე

3. $V''P_{Max}$ - მუშა სითხის მშრალი ნაჯერი ორთქლის კუთრი მოცულობა ციკლის მაქსიმალურ წნევაზე

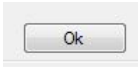
4. $H'P_{Max}$ - ნაჯერობის მდგომარეობაში მყოფი მუშა სითხის ენთალპია ციკლის მაქსიმალურ წნევაზე

5. $H''P_{Max}$ - მუშა სითხის მშრალი ნაჯერი ორთქლის ენთალპია ციკლის მაქსიმალურ წნევაზე

6. R_{PMax} - მუშა სითხის აორთქლების ფარული სითბო ციკლის მაქსიმალურ წნევაზე

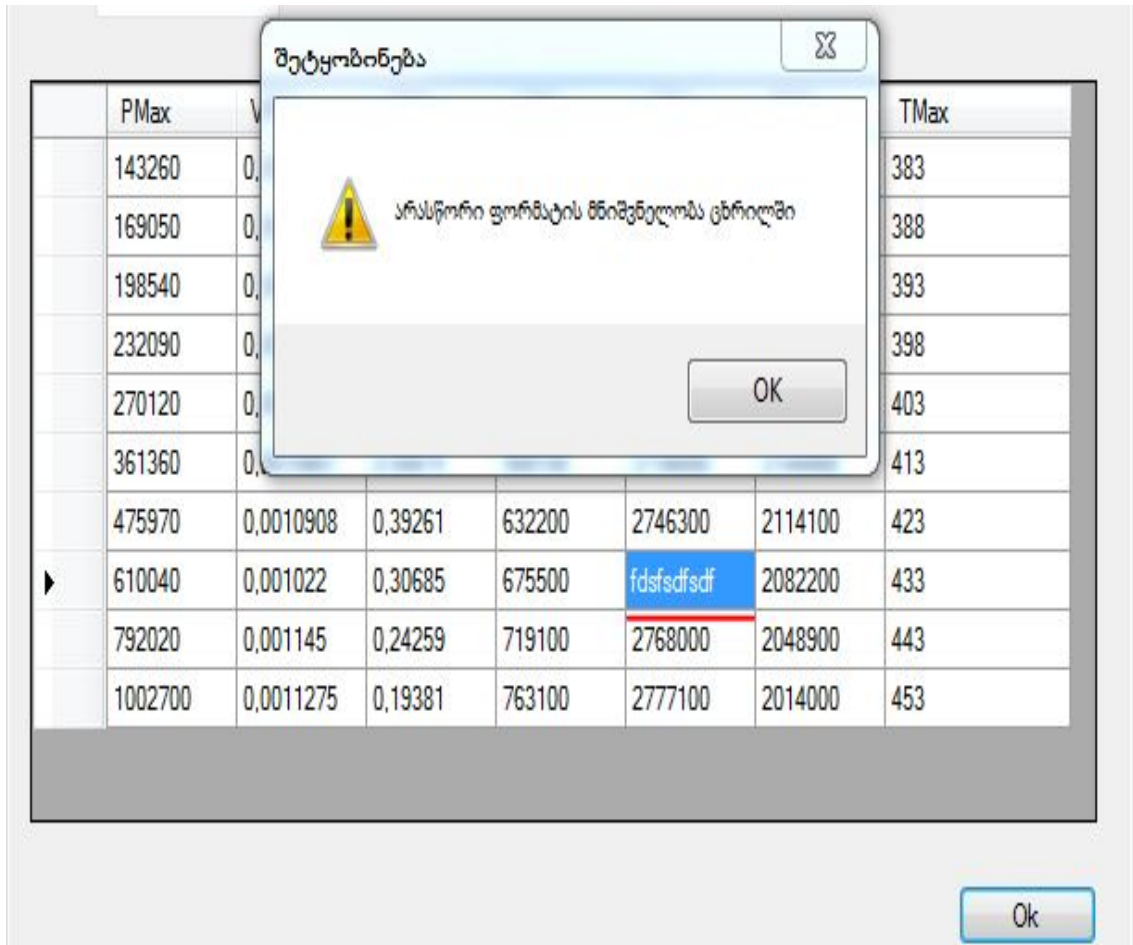
7. T_{Max} - ციკლის მაქსიმალური ტემპერატურა

2. ვალიდაცია

პარამეტრების შეყვანის შემდეგ  ღილაკზე დაკლიკებისას ხდება შეყვანილი მონაცემების ვალიდაცია მექანიკური შეცდომის გამოსარიცხად.

„ვალიდაცია“ - შეყვანილი პარამეტრების ფორმატის სისწორის შემოწმება სისტემის მიერ.

არასწორი პარამეტრების შეყვანის შემთხვევაში სისტემას გამოაქვს შეტყობინება არასწორი ფორმატის პარამეტრის შეყვანის შესახებ (იხ. ნახ. 2).



ნახ. 2 შეტყობინება არასწორი პარამეტრის შეყვანის შესახებ

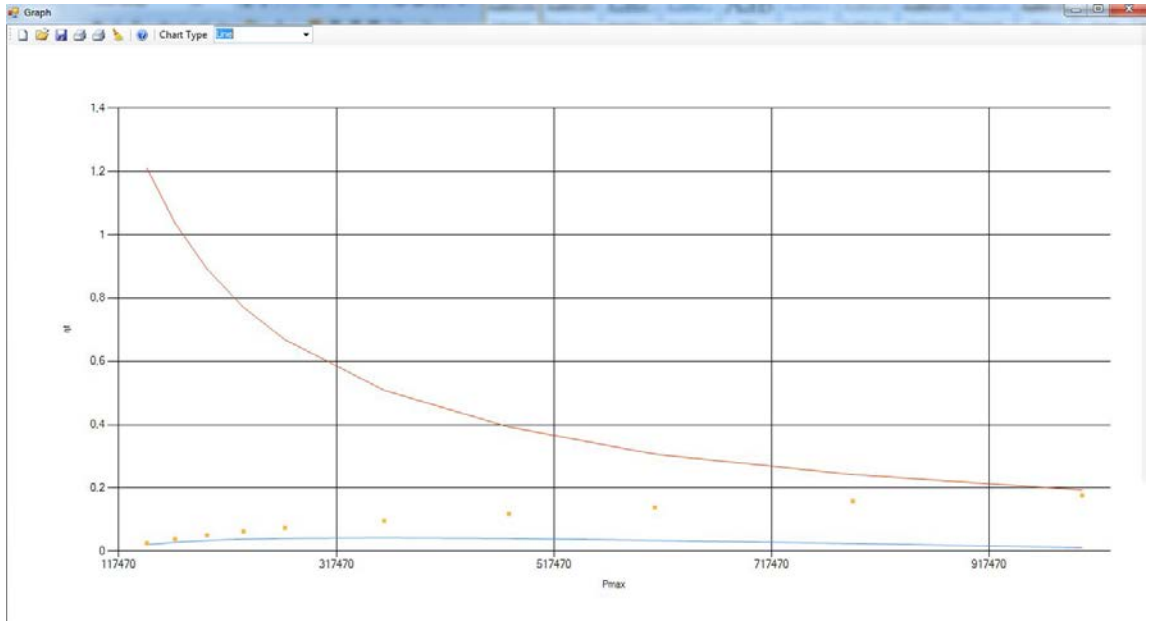
3. გრაფიკის აგება

ვალიდაციის წარმატებით გავლის შემდეგ ხდება გრაფიკის აგება (იხ. ნახ. 4, ნახ. 5)

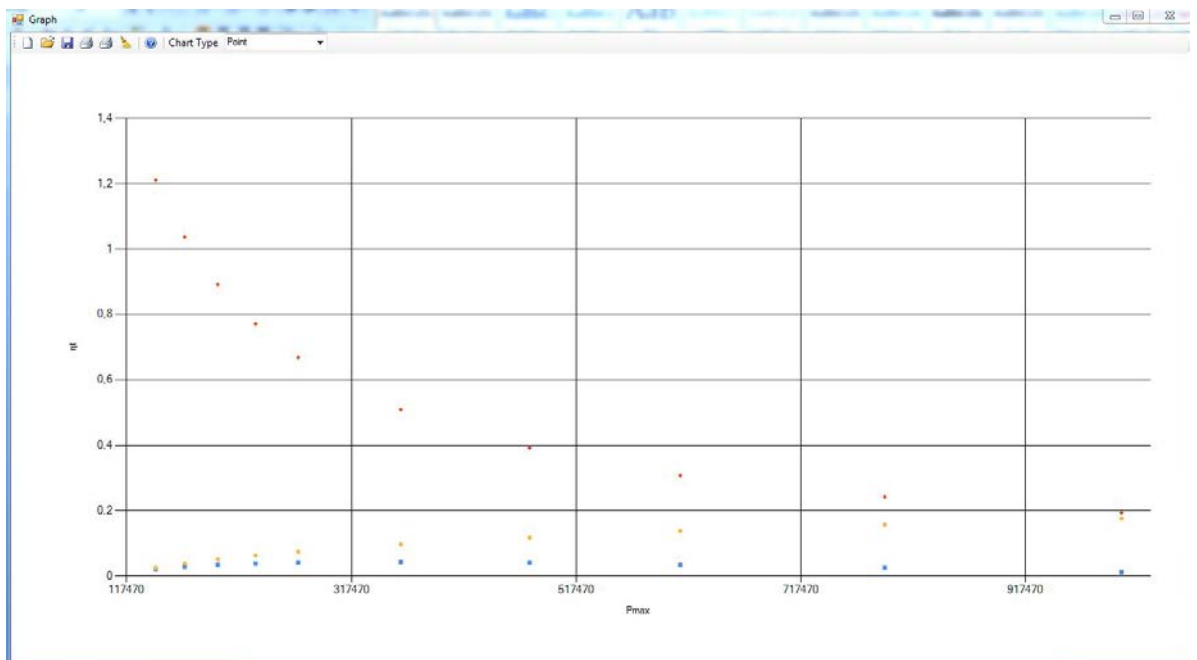
გრაფიკის ტიპის განსაზღვრა ხდება მომხმარებლის მიერ შესაბამისი გრაფიკის ტიპის არჩევის შემდეგ (იხ. ნახ. 3)



ნახ. 3




ნახ. 4

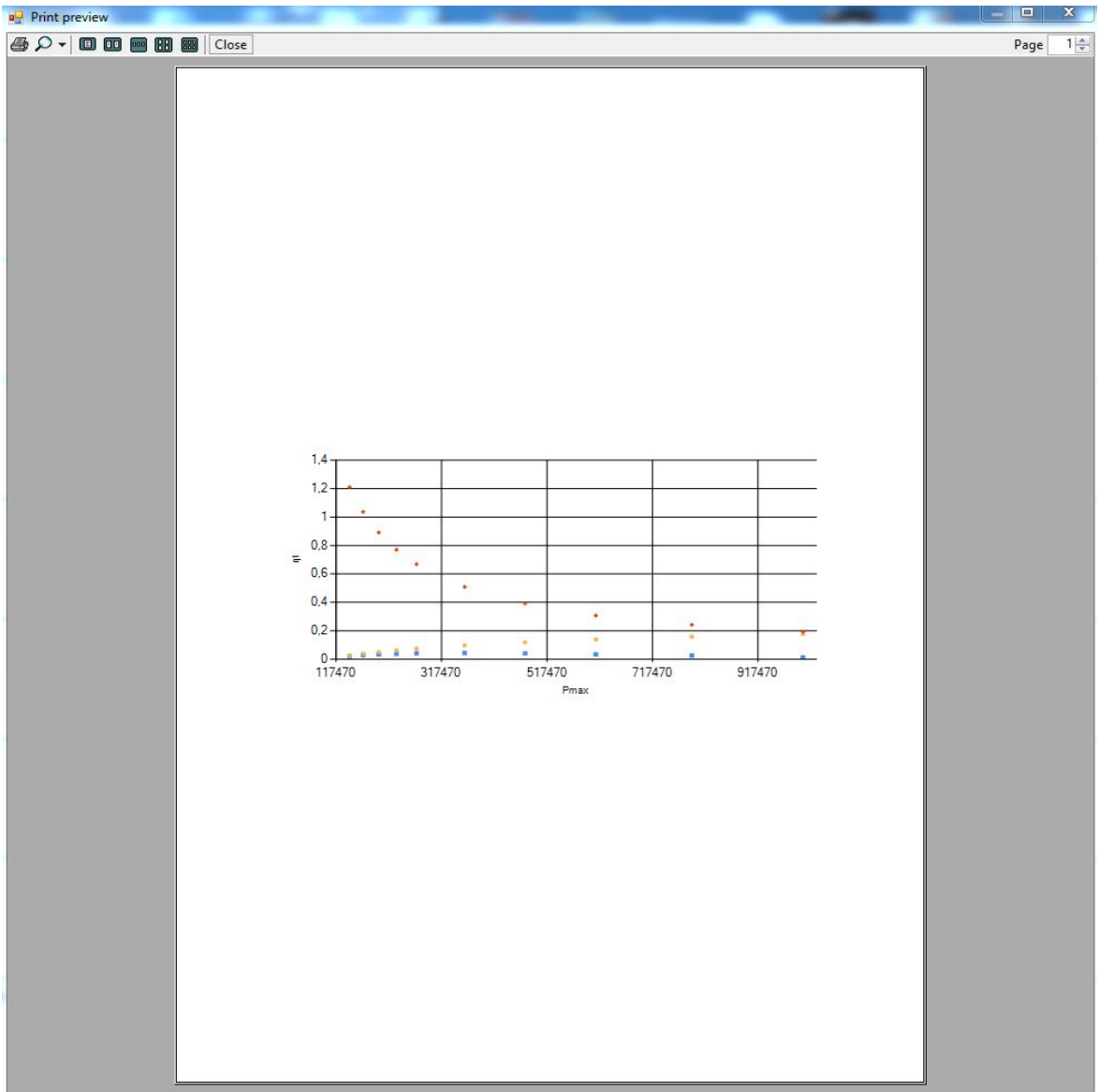


ნახ. 5

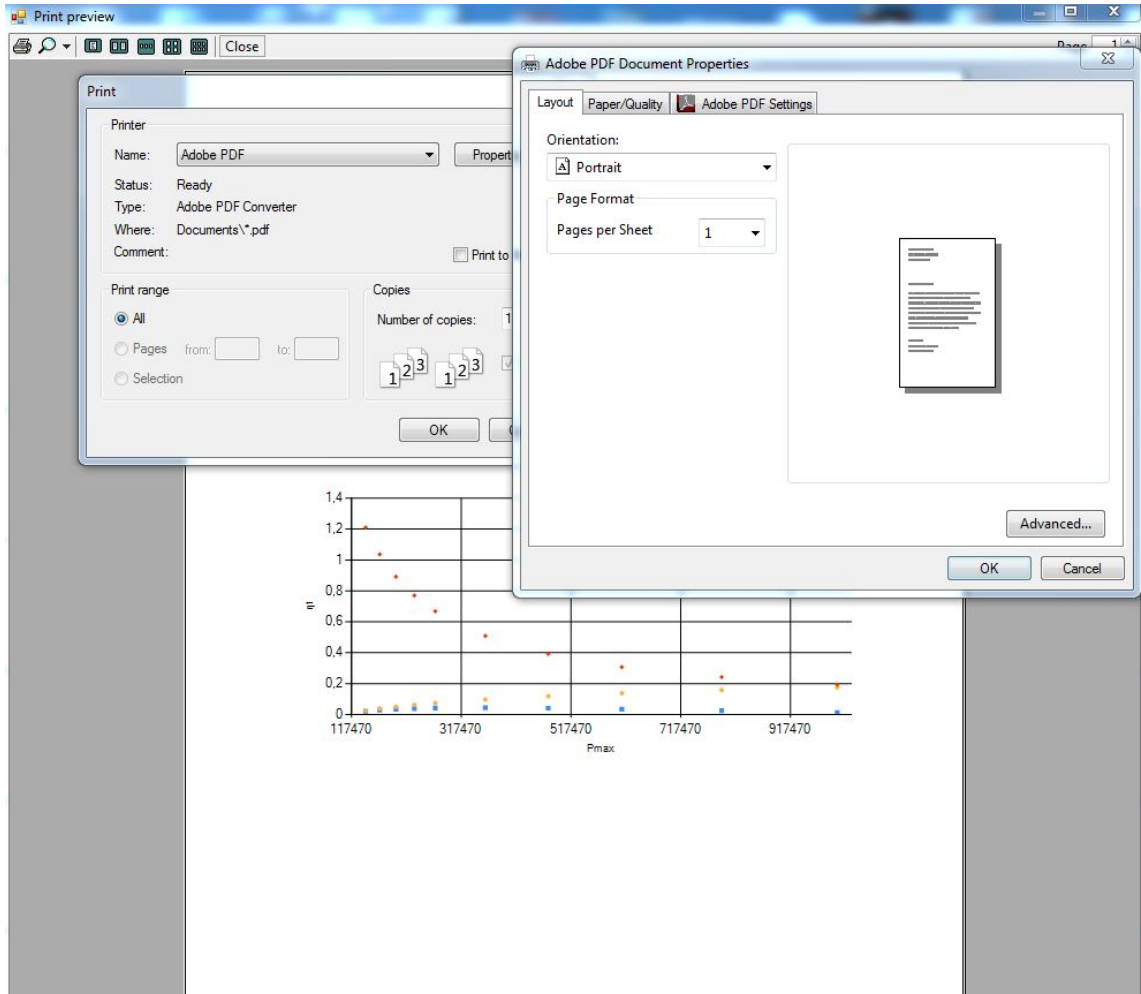
სისტემაში შესაძლებელია უსასრულო რაოდენობის გრაფიკების აგება შესაბამისი მონაცემების შეყვანის საფუძველზე.

4. Print

ბრძანება Print Graph-ს  ღილაკზე დაკლიკების შემთხვევაში ხდება აგებული გრაფიკის ფურცელზე ბეჭდვა (იხ. ნახ. 6, ნახ. 7)



ნახ. 6 გრაფიკის ბეჭდვის გვერდი



ნახ. 7 გრაფიკის ბეჭდვის გვერდი (დამატებითი პარამეტრების მითითება)

ბეჭდვის გვერდზე შესაძლებელია მიეთითოს დამატებითი პარამეტრები და ისე მოხდეს ბეჭდვა (მაგ. LayOut, Orientation, Page Format, Number Of Copies, Collate, Paper Quality(შესაძლებელია როგორც შავ თეთრი ასევე ერაღი ბეჭდვა), Paper Size(A1, ... A4, ...))

5. გრაფის ამოსაბეჭდი ფორმა

ამ ფორმაზე ჩანს სისტემის მიერ დამუშავებული მონაცემები ცხრილის სახით. შესაძლებელია ამ ცხრილის ფურცელზე ბეჭდვა.

Grid Printing Form

საბეჭდი ფორმა

j 10 v'pmin v''pmin h'pmin h''pmin r'pmin tmin Table # 1

Pmin 101325 0.001043 1.6738 419060 2676300 2257200 373

x1 0,09 u1 v1 v2 h1

x3 0,9 606847,9 0,151591 0,151591 622208

	Pmax	V1PMax	V2PMax	H1PMax	H2PMax	RpMax	X4	U2
▶	143260	0,0010519	1,2106	461320	2691800	2230500	0,650783075813...	640347,9
	169050	0,0010562	1,0369	482500	2699300	2216800	0,557326802475...	656385,4
	198540	0,00110606	0,89202	503700	2706600	2202900	0,479379396747...	671863,9
	232090	0,0010652	0,77067	525000	2713800	2188800	0,414086510987...	686809,0
	270120	0,00107	0,66851	546300	2720700	2174400	0,359121230032...	701048,0
	361360	0,0010801	0,50875	589100	2734000	2144900	0,273165499361...	727361,7
	475970	0,0010908	0,39261	632200	2746300	2114100	0,210678853817...	750315,8
	610040	0,001022	0,30685	675500	2757700	2082200	0,164532932860...	770420,9
	792020	0,001145	0,24259	719100	2768000	2048900	0,129966212053...	783437,2
	1002700	0,0011275	0,19381	763100	2777100	2014000	0,103719860448...	792358,9

Print

ნახ. 8 სისტემის მიერ დამუშავებული მონაცემები

Grid Printing Form

საბავშვო ფორმა

j 10 v'pmin v'pmin h'pmin h'pmin r'pmin tmin Table # 1

Pmin 101325 0,001043 1,6738 419060 2676300 2257200 373

x1 0,09 u1 v1 v2 h1

x3 0,9 606847,9 0,151591 0,151591 622208

	Pmax	V1PMax	V2PMax	H1PMax	H2PMax	RpMax	X4	U2
	143260	0,0010519	1,2106	461320	2691800	2230500	0,650783075813...	640347,9
	169050	0,0010562	1,0369	482500	2699300	2216800	0,557326802475...	656385,4
	169510	0,00110666	0,99999	500700	2706600	2200000	0,478979396747...	671863,9
	186510987...							686809,0
	21230032...							701048,0
	65499361...							727361,7
	78853817...							750315,8
	832932860...							770420,9
	866212053...							783437,2
	719860448...							792358,9

Print preview


Customer Summary


Pm	V1	V2	H1	H2	Rp	X4	U2	U3	U4	V3	V4	Q1	Q1	Q2	Q2	Q1	Q2	H2	H3	H4	Tm	Nt	Nt2
ax	P...	P...	P...	P...	M...							I	I	I	I	I	I				ax		
143	0,0	1,2	461	269	223	0,6	640	231	177	1,0	1,0	184	334	180	180	535	126	662	246	188	383	0,0	0,0
260	01...	106	320	18...	05...	50...	34...	26...	75...	89...	89...	02...	99...	67...	08...	06...	57...	065	87...	80...	21...	0,0	26...
169	0,0	1,0	482	269	221	0,5	656	231	158	0,9	0,9	184	495	179	179	737	105	682	247	167	388	0,0	0,0
050	01...	369	500	93...	68...	57...	38...	98...	24...	33...	33...	51...	37...	56...	22...	35...	48...	012	76...	70...	28...	0,0	38...
198	0,0	0,8	503	270	220	0,4	671	232	141	0,8	0,8	184	650	178	178	907	878	701	248	150	393	0,0	0,0
540	01...	92...	700	66...	29...	79...	86...	68...	97...	02...	02...	93...	16...	43...	60...	13...	90...	961	63...	11...	34...	0,0	50...
232	0,0	0,7	525	271	218	0,4	686	233	128	0,6	0,6	185	799	177	178	105	731	721	249	135	398	0,0	0,0
090	01...	70...	000	38...	88...	14...	80...	39...	34...	93...	93...	28...	61...	29...	19...	04...	52...	992	49...	37...	38...	0,0	62...
120	0,0	0,6	546	272	217	0,3	701	234	116	0,6	0,6	185	942	176	177	117	607	741	250	122	403	0,0	0,0
120	01...	68...	300	07...	44...	59...	04...	07...	86...	01...	01...	54...	00...	12...	94...	20...	46...	996	32...	96...	40...	0,0	74...
361	0,0	0,5	589	273	214	0,2	727	235	969	0,4	0,4	185	120	173	177	136	413	782	251	103	413	0,0	0,0
360	01...	08...	100	40...	49...	73...	36...	40...	24...	57...	57...	78...	51...	73...	82...	47...	44...	141	95...	56...	42...	0,0	96...
475	0,0	0,3	632	274	211	0,2	750	236	858	0,3	0,3	185	143	171	178	150	272	822	253	894	423	0,0	0,1
970	01...	92...	200	63...	41...	10...	31...	66...	79...	53...	53...	58...	46...	24...	02...	78...	39...	469	48...	60...	40...	0,0	18...
610	0,0	0,3	675	275	208	0,1	770	238	762	0,2	0,2	185	163	168	178	161	168	862	254	790	433	0,0	0,1
040	01...	06...	500	77...	22...	64...	42...	09...	45...	76...	76...	01...	57...	65...	67...	84...	23...	898	94...	44...	34...	0,0	38...
792	0,0	0,2	719	276	204	0,1	783	239	690	0,2	0,2	183	176	165	179	169	902	903	256	712	443	0,0	0,1
020	01...	42...	100	80...	89...	29...	43...	00...	28...	18...	18...	61...	58...	96...	00...	98...	11...	501	31...	41...	25...	0,0	58...
100	0,0	0,1	763	277	201	0,1	792	240	635	0,1	0,1	181	185	163	179	176	309	944	257	653	453	0,0	0,1
27...	01...	93...	100	71...	40...	03...	35...	06...	49...	74...	74...	68...	51...	13...	61...	51...	68...	360	57...	17...	11...	0,0	76...

Print

ნახ. 9 სისტემის მიერ დამუშავებული მონაცემების ფურცელზე ბეჭვდა

6. Save & Clear

ბრძანება Save  ღილაკზე დაკლიკების შემთხვევაში ხდება აგებული გრაფიკის შენახვა სურათის სახით .jpeg ფორმატში, ხოლო

ბრძანება Clear  ღილაკზე დაკლიკების შემთხვევაში ხდება აგებული გრაფიკების წაშლა (გასუფთავება).

დანართი 3

თერმოდინამიკული ციკლის საანგარიშო პროგრამა

```
using System;

using System.Linq;

using System.Text;

using ThermoDynamicCycleProgram.Src.Entities;

namespace ThermoDynamicCycleProgram.Src.Managers

{

    public class GraphManager

    {

        #region properties

        private double _v1Pmin, _v2Pmin, _h1Pmin,
        _h2Pmin, _rPmin;

        private double _u1, _v1, _v2, _x1, _x2, _x3, _h1;

        private double _pmin, _tmin;

        private int _j;

        private double[] _x4, _u2, _u3, _u4, _v3, _v4,
        _q1, _q11, _q21, _q2, _q12, _q22, _h2, _h3, _h4, _nt,
        _nt2;
```

```
private ThermoDynamic[] _elements;
```

```
public int J
```

```
{  
    get  
    {  
        return _j;  
    }  
}
```

```
public double PMin
```

```
{  
    get  
    {  
        return _pmin;  
    }  
}
```

```
public double Tmin
```

```
{  
    get  
    {  
        return _tmin;  
    }  
}
```

```
public double V1Pmin
```

```
{  
    get  
    {  
        return _v1Pmin;  
    }  
}
```

```
public double V2Pmin
{
    get
    {
        return _v2Pmin;
    }
}
```

```
public double H1Pmin
{
    get
    {
        return _h1Pmin;
    }
}
```

```
public double H2Pmin
{
    get
    {
        return _h2Pmin;
    }
}
```

```
public double RPmin
{
    get
    {
        return _rPmin;
    }
}
```

```
public double U1
{
    get
    {
        return _u1;
    }
}
```

```
public double V1
{
    get
    {
        return _v1;
    }
}
```

```
public double V2
{
    get
    {
        return _v2;
    }
}
```

```
public double X1
{
    get
    {
        return _x1;
    }
}
```

```
public double X2
```

```
{
    get
    {
        return _x2;
    }
}

public double X3
{
    get
    {
        return _x3;
    }
}

public double H1
{
    get
    {
        return _h1;
    }
}

public ThermoDynamic[] Elements
{
    get
    {
        return _elements;
    }
}

public double[] PMax
```



```

    {
        get
        {
            return _elements.Select(s =>
s.Pmax).ToArray();
        }
    }

```

```

public double[] Nt
{
    get
    {
        return _nt;
    }
}

```

```

public double[] Nt2
{
    get
    {
        return _nt2;
    }
}

```

```

public double[] X4
{
    get
    {
        return _x4;
    }
}

```

```

public double[] U2

```

```
{
    get
    {
        return _u2;
    }
}
```

```
public double[] U3
{
    get
    {
        return _u3;
    }
}
```

```
public double[] U4
{
    get
    {
        return _u4;
    }
}
```

```
public double[] V3
{
    get
    {
        return _v3;
    }
}
```

```
public double[] V4
{
```

```
        get
        {
            return _v4;
        }
    }

    public double[] Q1
    {
        get
        {
            return _q1;
        }
    }

    public double[] Q11
    {
        get
        {
            return _q11;
        }
    }

    public double[] Q21
    {
        get
        {
            return _q21;
        }
    }

    public double[] Q2
    {
        get
```

```
        {
            return _q2;
        }
    }

    public double[] Q12
    {
        get
        {
            return _q12;
        }
    }

    public double[] Q22
    {
        get
        {
            return _q22;
        }
    }

    public double[] H2
    {
        get
        {
            return _h2;
        }
    }

    public double[] H3
    {
        get
        {
```

```

        return _h3;
    }
}

public double[] H4
{
    get
    {
        return _h4;
    }
}

#endregion

#region Constructors

public GraphManager()
{
    Initialize();
}

#endregion

#region Initialize

public void Initialize()
{
    _pmin = 0;
    _tmin = 0;

    _v1Pmin = 0;
    _v2Pmin = 0;
    _h1Pmin = 0;
}

```

```
_h2Pmin = 0;
_rPmin = 0;

_x1 = 0;
_x2 = 0;
_x3 = 0;

_j = 0;

_u1 = 0;
_v1 = 0;
_v2 = 0;

_h1 = 0;

_x4 = new double[0];

_u2 = new double[0];
_u3 = new double[0];
_u4 = new double[0];

_v3 = new double[0];
_v4 = new double[0];

_q1 = new double[0];
_q11 = new double[0];
_q12 = new double[0];

_q2 = new double[0];
_q21 = new double[0];
_q22 = new double[0];

_h2 = new double[0];
```

```

        _h3 = new double[0];
        _h4 = new double[0];

        _nt = new double[0];
        _nt2 = new double[0];

        _elements = new ThermoDynamic[0];
    }

#endregion

#region Fill

    public void Fill(int length, double pmin, double
tmin, double          v1Pmin, double v2Pmin, double
h1Pmin,
                    double h2Pmin, double rPmin, double x1,
double x3,          ThermoDynamic[] elements)
    {
        FillProperties(length, pmin, tmin, v1Pmin,
v2Pmin, h1Pmin, h2Pmin, rPmin, x1, x3);
        FillArrays(length, elements);
    }

    public void Calculate()
    {
        CalculateV1();
        CalculateU1();
        CalculateU2(_j);

        Calculateq11(_j);
        Calculateq21(_j);
        Calculateq1(_j);

```

```

        CalculateV3(_j);
        CalculateU3(_j);
        CalculateX4(_j);

        CalculateU4(_j);

        Calculateq12(_j);
        Calculateq22(_j);
        Calculateq2(_j);

        Calculatent(_j);
        Calculatent2(_j);
    }

    private void FillProperties(int j, double pmin,
double tMin, double v1Pmin, double v2Pmin,
        double h1Pmin, double h2Pmin, double rPmin,
double x1, double x3)
    {
        _pmin = pmin;
        _tmin = tMin;

        _v1Pmin = v1Pmin;
        _v2Pmin = v2Pmin;
        _h1Pmin = h1Pmin;
        _h2Pmin = h2Pmin;
        _rPmin = rPmin;

        _x1 = x1;
        _x2 = x1;
        _x3 = x3;
    }

```



```

        _j = j;
    }

    private void FillArrays(int count,
ThermoDynamic[] elements)
    {
        _x4 = new double[count];

        _u2 = new double[count];
        _u3 = new double[count];
        _u4 = new double[count];

        _v3 = new double[count];
        _v4 = new double[count];

        _q1 = new double[count];
        _q11 = new double[count];
        _q12 = new double[count];

        _q2 = new double[count];
        _q21 = new double[count];
        _q22 = new double[count];

        _h2 = new double[count];
        _h3 = new double[count];
        _h4 = new double[count];

        _nt = new double[count];
        _nt2 = new double[count];

        _elements = elements;
    }

```

```

private void CalculateV1()
{
    _v1 = ((1 - _x1)*_v1Pmin) + (_x1*_v2Pmin);
    _v2 = _v1;
}

private void CalculateU1()
{
    _h1 = _h1Pmin + (_x1*_rPmin);
    _u1 = _h1 - (_pmin*_v1);
}

private void CalculateU2(int count)
{
    for (var i = 0; i < count; i++)
    {
        _h2[i] = _elements[i].Properties.H1PMax +
(_x2*_elements[i].Properties.RpMax);
        _u2[i] = _h2[i] -
(_elements[i].Pmax*_v2);
    }
}

private void Calculateq11(int count)
{
    for (var i = 0; i < count; i++)
    {
        _q11[i] = _u2[i] - _u1;
    }
}

private void Calculateq21(int count)
{

```

```

        for (var i = 0; i < count; i++)
        {
            _q21[i] = _elements[i].Properties.RpMax *
(_x3 - _x2);
        }
    }

    private void Calculateq1(int count)
    {
        for (var i = 0; i < count; i++)
        {
            _q1[i] = _q11[i] + _q21[i];
        }
    }

    private void CalculateV3(int count)
    {
        for (var i = 0; i < count; i++)
        {
            _v3[i] = ((1 -
_x3)*_elements[i].Properties.V1PMax) +
(_x3*_elements[i].Properties.V2PMax);
        }

        _v4 = _v3;
    }

    private void CalculateU3(int count)
    {
        for (var i = 0; i < count; i++)
        {
            _h3[i] = _elements[i].Properties.H1PMax +
(_x3*_elements[i].Properties.RpMax);
        }
    }

```

```

        _u3[i] = _h3[i] -
(_elements[i].Pmax*_v3[i]);
    }
}

private void CalculateX4(int count)
{
    for (var i = 0; i < count; i++)
    {
        _x4[i] = (_v4[i] - _v1Pmin)/(_v2Pmin -
_v1Pmin);
    }
}

private void CalculateU4(int count)
{
    for (var i = 0; i < count; i++)
    {
        _h4[i] = _h1Pmin + (_x4[i]*_rPmin);
        _u4[i] = _h4[i] - (_pmin*_v4[i]);
    }
}

private void Calculateq12(int count)
{
    for (var i = 0; i < count; i++)
    {
        _q12[i] = _u3[i] - _u4[i];
    }
}

private void Calculateq22(int count)
{

```

```

        for (var i = 0; i < count; i++)
        {
            _q22[i] = _rPmin * (_x4[i] - _x1);
        }
    }

private void Calculateq2(int count)
{
    for (var i = 0; i < count; i++)
    {
        _q2[i] = _q12[i] + _q22[i];
    }
}

private void Calculatent(int count)
{
    for (var i = 0; i < count; i++)
    {
        _nt[i] = (_q1[i] - _q2[i]) / _q1[i];
    }
}

private void Calculatent2(int count)
{
    for (var i = 0; i < count; i++)
    {
        _nt2[i] = (_elements[i].Properties.Tmax -
_tmin)/_elements[i].Properties.Tmax;
    }
}

#endregion
}

```

```
}
```

```
using System;  
using System.Collections;  
using System.Collections.Generic;  
using System.Globalization;  
using System.IO;  
using System.Linq;  
using System.Text.RegularExpressions;
```

```
namespace ThermoDynamicCycleProgram.Src.Utils  
{
```

```
    public static class Converter  
    {
```

```
        private static readonly Regex DoubleRegex = new  
Regex(@"(?<mantis>^(-  
\d*)|^(\\d*))[,\\.](?<exponent>\d+)$|^(?<mantis>\d+)$",  
RegexOptions.Compiled | RegexOptions.IgnoreCase);
```

```
        private static readonly NumberFormatInfo  
InvariantNumberFormat = NumberFormatInfo.InvariantInfo;  
        private static readonly DateTimeFormatInfo  
InvariantDateFormat = DateTimeFormatInfo.InvariantInfo;
```

```
        private static readonly String  
NumberDecimalSeparator =  
InvariantNumberFormat.NumberDecimalSeparator;
```

```
        private static readonly StringComparer  
IgnoreCaseComparer = StringComparer.OrdinalIgnoreCase;
```

```

private static readonly String[] TimeFormats =
{
    "",

    "H:mm", "HH:mm", "H:m", "HH:m",
    "H:mm:ss", "HH:mm:ss", "H:m:ss", "HH:m:ss",
    "H:mm:ss.fff", "HH:mm:ss.fff", "H:m:ss.fff",
    "HH:m:ss.fff"
};

private static readonly String[] DateFormats =
{
    "d.M.yyyy", "d-M-yyyy", "d/M/yyyy",
    "d.MM.yyyy", "d-MM-yyyy", "d/MM/yyyy",
    "dd.M.yyyy", "dd-M-yyyy", "dd/M/yyyy",
    "dd.MM.yyyy", "dd-MM-yyyy", "dd/MM/yyyy",

    "yyyy.M.d", "yyyy-M-d", "yyyy/M/d",
    "yyyy.MM.d", "yyyy-MM-d", "yyyy/MM/d",
    "yyyy.M.dd", "yyyy-M-dd", "yyyy/M/dd",
    "yyyy.MM.dd", "yyyy-MM-dd", "yyyy/MM/dd",

    "d.M.yy", "d-M-yy", "d/M/yy",
    "d.MM.yy", "d-MM-yy", "d/MM/yy",
    "dd.M.yy", "dd-M-yy", "dd/M/yy",
    "dd.MM.yy", "dd-MM-yy", "dd/MM/yy",

    "yy.M.d", "yy-M-d", "yy/M/d",
    "yy.MM.d", "yy-MM-d", "yy/MM/d",
    "yy.M.dd", "yy-M-dd", "yy/M/dd",
    "yy.MM.dd", "yy-MM-dd", "yy/MM/dd"
};

```

```

        public static readonly String[]
AllowedDateTimeFormats;

        static Converter()
        {
            var dateFormatsList = (from dateFormat in
DateFormats
                                from timeFormat in
TimeFormats
                                let dateTimeFormat =
String.Concat(dateFormat, " ", timeFormat)
                                select
dateTimeFormat.Trim()).ToList();

            dateFormatsList.Add("yyyy-MM-
ddTHH:mm:ss.fffffffzzz");

            AllowedDateTimeFormats =
dateFormatsList.ToArray();
        }

        public static bool IsConvertible(Object value,
Type type)
        {
            return IsConvertible(value, type.FullName);
        }

        public static bool IsConvertible(Object value,
String typeName)
        {
            return TryChangeType(value, typeName, out
value);
        }

```



```

        public static Object ChangeType(Object value,
String typeName)
    {
        if (String.IsNullOrEmpty(typeName))
        {
            return value;
        }

        var strValue = Convert.ToString(value);
        if (String.IsNullOrEmpty(strValue))
        {
            return null;
        }

        typeName = typeName.ToLower();

        switch (typeName)
        {
            case "bool":
            case "boolean":
            case "system.bool":
            case "system.boolean":
                {
                    if
(IngnoreCaseComparer.Equals(strValue, "on"))
                    {
                        strValue = "true";
                    }
                    else if
(IngnoreCaseComparer.Equals(strValue, "off"))
                    {
                        strValue = "false";
                    }
                }
        }
    }

```

```

        return
Convert.ToBoolean(strValue, InvariantNumberFormat);
    }
    case "byte":
    case "system.byte":
    {
        return Convert.ToByte(value,
InvariantNumberFormat);
    }
    case "sbyte":
    case "system.sbyte":
    {
        return Convert.ToSByte(value,
InvariantNumberFormat);
    }
    case "short":
    case "int16":
    case "system.short":
    case "system.int16":
    {
        return Convert.ToInt16(value,
InvariantNumberFormat);
    }
    case "ushort":
    case "uint16":
    case "system.ushort":
    case "system.uint16":
    {
        return Convert.ToUInt16(value,
InvariantNumberFormat);
    }
    case "int":

```

```

        case "int32":
        case "system.int":
        case "system.int32":
            {
                return Convert.ToInt32(value,
InvariantNumberFormat);
            }
        case "uint":
        case "uint32":
        case "system.uint":
        case "system.uint32":
            {
                return Convert.ToUInt32(value,
InvariantNumberFormat);
            }
        case "long":
        case "int64":
        case "system.long":
        case "system.int64":
            {
                return Convert.ToInt64(value,
InvariantNumberFormat);
            }
        case "ulong":
        case "uint64":
        case "system.ulong":
        case "system.uint64":
            {
                return Convert.ToUInt64(value,
InvariantNumberFormat);
            }
        case "float":
        case "single":

```

```

        case "system.float":
        case "system.single":
            {
                return Convert.ToSingle(value,
InvariantNumberFormat);
            }
        case "double":
        case "system.double":
            {
                return Convert.ToDouble(value,
InvariantNumberFormat);
            }
        case "decimal":
        case "system.decimal":
            {
                return Convert.ToDecimal(value,
InvariantNumberFormat);
            }
        case "datetime":
        case "system.datetime":
            {
                var dateTime =
ToNullableDateTime(value);
                if (dateTime != null)
                {
                    return dateTime.Value;
                }

                return null;
            }
        case "timespan":
        case "system.timespan":
            {

```

```

        var timeSpan =
ToNullableTimeSpan(value);
        if (timeSpan != null)
        {
            return timeSpan.Value;
        }

        return null;
    }
    case "guid":
    case "system.guid":
    {
        Guid convertedValue;
        if (Guid.TryParse(strValue, out
convertedValue))
        {
            return convertedValue;
        }
        return null;
    }
    case "string":
    case "system.string":
    {
        return strValue;
    }
}

return value;
}
public static Object ChangeType(Object value,
Type type)
{
    return Convert.ChangeType(value, type);
}

```

```

    }

    public static bool TryChangeType(Object value,
Type type, out Object result)
    {
        return TryChangeType(value, type.FullName,
out result);
    }
    public static bool TryChangeType(Object value,
String typeName, out Object result)
    {
        result = value;

        if (String.IsNullOrEmpty(typeName))
        {
            return true;
        }

        var strValue = Convert.ToString(value);
        if (String.IsNullOrEmpty(strValue))
        {
            result = null;
            return true;
        }

        typeName = typeName.ToLower();

        bool converted = false;

        switch (typeName)
        {
            case "bool":
            case "boolean":

```

```

        case "system.bool":
        case "system.boolean":
            {
                if
(IngnoreCaseComparer.Equals(strValue, "on"))
                    {
                        strValue = "true";
                    }
                else if
(IngnoreCaseComparer.Equals(strValue, "off"))
                    {
                        strValue = "false";
                    }

                bool convertedValue;
                converted =
bool.TryParse(strValue, out convertedValue);
                result = convertedValue;
            }
            break;
        case "byte":
        case "system.byte":
            {
                byte convertedValue;
                converted =
byte.TryParse(strValue, NumberStyles.Any,
InvariantNumberFormat, out convertedValue);
                result = convertedValue;
            }
            break;
        case "sbyte":
        case "system.sbyte":
            {

```

```

        sbyte convertedValue;
        converted =
sbyte.TryParse(strValue, NumberStyles.Any,
InvariantNumberFormat, out convertedValue);
        result = convertedValue;
    }
    break;
case "short":
case "int16":
case "system.short":
case "system.int16":
    {
        Int16 convertedValue;
        converted =
Int16.TryParse(strValue, NumberStyles.Any,
InvariantNumberFormat, out convertedValue);
        result = convertedValue;
    }
    break;
case "ushort":
case "uint16":
case "system.ushort":
case "system.uint16":
    {
        UInt16 convertedValue;
        converted =
UInt16.TryParse(strValue, NumberStyles.Any,
InvariantNumberFormat, out convertedValue);
        result = convertedValue;
    }
    break;
case "int":
case "int32":

```



```

        case "system.int":
        case "system.int32":
            {
                Int32 convertedValue;
                converted =
Int32.TryParse(strValue, NumberStyles.Any,
InvariantNumberFormat, out convertedValue);
                result = convertedValue;
            }
            break;
        case "uint":
        case "uint32":
        case "system.uint":
        case "system.uint32":
            {
                UInt32 convertedValue;
                converted =
UInt32.TryParse(strValue, NumberStyles.Any,
InvariantNumberFormat, out convertedValue);
                result = convertedValue;
            }
            break;
        case "long":
        case "int64":
        case "system.long":
        case "system.int64":
            {
                Int64 convertedValue;
                converted =
Int64.TryParse(strValue, NumberStyles.Any,
InvariantNumberFormat, out convertedValue);
                result = convertedValue;
            }

```

```

        break;
    case "ulong":
    case "uint64":
    case "system.ulong":
    case "system.uint64":
        {
            UInt64 convertedValue;
            converted =
UInt64.TryParse(strValue, NumberStyles.Any,
InvariantNumberFormat, out convertedValue);
            result = convertedValue;
        }
        break;
    case "float":
    case "single":
    case "system.float":
    case "system.single":
        {
            String correctDouble;
            if
(TryGetCorrectDouble(Convert.ToString(value), out
correctDouble))
            {
                float convertedValue;
                converted =
float.TryParse(correctDouble, NumberStyles.Any,
InvariantNumberFormat, out convertedValue);
                result = convertedValue;
            }
        }
        break;
    case "double":
    case "system.double":

```

```

        {
            String correctDouble;
            if
(TryGetCorrectDouble(Convert.ToString(value), out
correctDouble))
        {
            double convertedValue;
            converted =
double.TryParse(correctDouble, NumberStyles.Any,
InvariantNumberFormat, out convertedValue);
            result = convertedValue;
        }
    }
    break;
case "decimal":
case "system.decimal":
    {
        String correctDouble;
        if
(TryGetCorrectDouble(Convert.ToString(value), out
correctDouble))
    {
        decimal convertedValue;
        converted =
decimal.TryParse(correctDouble, NumberStyles.Any,
InvariantNumberFormat, out convertedValue);
        result = convertedValue;
    }
}
    break;
case "datetime":
case "system.datetime":
    {

```

```

        var dateTime =
ToNullableDateTime(value);
        converted = (dateTime != null);
        result = (converted ?
(Object)dateTime.Value : null);
    }
    break;
case "timespan":
case "system.timespan":
    {
        TimeSpan convertedValue;
        converted =
TimeSpan.TryParseExact(strValue, "G",
CultureInfo.InvariantCulture, out convertedValue);
        result = convertedValue;
    }
    break;
case "guid":
case "system.guid":
    {
        Guid convertedValue;
        converted =
Guid.TryParse(strValue, out convertedValue);
        result = convertedValue;
    }
    break;
case "string":
case "system.string":
    {
        result = Convert.ToString(value);
        converted = true;
    }
    break;

```

```

    }

    return converted;
}

public static Object ConvertToAny(Object value)
{
    var strValue = Convert.ToString(value);
    if (String.IsNullOrEmpty(strValue))
    {
        return strValue;
    }

    Guid guid;
    if (Guid.TryParse(strValue, out guid))
    {
        return guid;
    }

    String correctDouble;
    if (TryGetCorrectDouble(strValue, out
correctDouble))
    {
        decimal dec;
        if (decimal.TryParse(correctDouble,
NumberStyles.Any, InvariantNumberFormat, out dec))
        {
            return dec;
        }
    }
    else
    {
        long lng;

```

```

        if (long.TryParse(strValue,
NumberStyles.Any, InvariantNumberFormat, out lng))
        {
            return lng;
        }

        ulong ulng;
        if (ulong.TryParse(strValue,
NumberStyles.Any, InvariantNumberFormat, out ulng))
        {
            return ulng;
        }
    }

    DateTime dateTime;
    if (TryGetDateTime(strValue, out dateTime))
    {
        return dateTime;
    }

    return strValue;
}

public new static bool Equals(Object value1,
Object value2)
{
    return Object.Equals(value1, value2);
}

public static byte[] FromBase64String(String
value)
{
    try

```

```

        {
            return Convert.FromBase64String(value);
        }
        catch (Exception)
        {
            return null;
        }
    }

    public static String ToBase64String(byte[] value)
    {
        if (value == null)
        {
            return null;
        }

        return Convert.ToBase64String(value);
    }

    public static bool ToBool(Object value)
    {
        return ToBoolean(value);
    }

    public static bool? ToNullableBool(Object value)
    {
        return ToNullableBoolean(value);
    }

    public static Boolean ToBoolean(Object value)
    {
        return Convert.ToBoolean(value,
InvariantNumberFormat);
    }

```

```

public static Boolean? ToNullableBoolean(Object
value)
{
    if (value is Boolean)
    {
        return (Boolean)value;
    }

    Boolean result;
    if
(!Boolean.TryParse(Convert.ToString(value), out result))
    {
        return null;
    }

    return result;
}

public static Byte? ToByte(Object value)
{
    return Convert.ToByte(value,
InvariantNumberFormat);
}

public static Byte? ToNullableByte(Object value)
{
    if (value is Byte)
    {
        return (Byte)value;
    }

    Byte result;
    if (!Byte.TryParse(Convert.ToString(value),
NumberStyles.Any, InvariantNumberFormat, out result))

```



```

        {
            return null;
        }

        return result;
    }

    public static Char ToChar(Object value)
    {
        return Convert.ToChar(value,
InvariantNumberFormat);
    }

    public static DateTime ToDateTime(Object value)
    {
        var strValue = Convert.ToString(value);
        if (String.IsNullOrEmpty(strValue))
        {
            throw new InvalidDataException();
        }

        DateTime dateTimeValue;
        if (TryGetDateTime(strValue, out
dateTimeValue))
        {
            return dateTimeValue;
        }

        throw new InvalidDataException();
    }
    public static DateTime? ToNullableDateTime(Object
value)
    {

```

```

        var strValue = Convert.ToString(value);
        if (String.IsNullOrEmpty(strValue))
        {
            return null;
        }

        DateTime dateTimeValue;
        if (TryGetDateTime(strValue, out
dateTimeValue))
        {
            return dateTimeValue;
        }

        return null;
    }

    public static Decimal ToDecimal(Object value)
    {
        return Convert.ToDecimal(value,
InvariantNumberFormat);
    }
    public static Decimal? ToNullableDecimal(Object
value)
    {
        if (value is Decimal)
        {
            return (Decimal)value;
        }

        String correctDouble;
        if
(TryGetCorrectDouble(Convert.ToString(value), out
correctDouble))

```

```

        {
            decimal dec;
            if (decimal.TryParse(correctDouble,
NumberStyles.Any, InvariantNumberFormat, out dec))
                {
                    return dec;
                }
        }

        return null;
    }

    public static Double ToDouble(Object value)
    {
        return Convert.ToDouble(value,
InvariantNumberFormat);
    }
    public static Double? ToNullableDouble(Object
value)
    {
        if (value is Double)
        {
            return (Double)value;
        }

        String correctDouble;
        if
(TryGetCorrectDouble(Convert.ToString(value), out
correctDouble))
        {
            Double dec;
            if (Double.TryParse(correctDouble,
NumberStyles.Any, InvariantNumberFormat, out dec))

```

```

        {
            return dec;
        }
    }

    return null;
}

public static short ToShort(Object value)
{
    return.ToInt16(value);
}

public static short? ToNullableShort(Object
value)
{
    return.ToNullableInt16(value);
}

public static Int16.ToInt16(Object value)
{
    return Convert.ToInt16(value,
InvariantNumberFormat);
}

public static Int16? ToNullableInt16(Object
value)
{
    if (value is Int16)
    {
        return (Int16)value;
    }

    Int16 result;

```

```

        if (!Int16.TryParse(Convert.ToString(value),
NumberStyles.Any, InvariantNumberFormat, out result))
        {
            return null;
        }

        return result;
    }

    public static int ToInt(Object value)
    {
        return ToInt32(value);
    }
    public static int? ToNullableInt(Object value)
    {
        return ToNullableInt32(value);
    }

    public static Int32 ToInt32(Object value)
    {
        return Convert.ToInt32(value,
InvariantNumberFormat);
    }
    public static Int32? ToNullableInt32(Object
value)
    {
        if (value is Int32)
        {
            return (Int32)value;
        }

        Int32 result;

```

```

        if (!Int32.TryParse(Convert.ToString(value),
NumberStyles.Any, InvariantNumberFormat, out result))
        {
            return null;
        }

        return result;
    }

    public static long ToLong(Object value)
    {
        return.ToInt64(value);
    }
    public static long? ToNullableLong(Object value)
    {
        return.ToInt64(value);
    }

    public static Int64.ToInt64(Object value)
    {
        return Convert.ToInt64(value,
InvariantNumberFormat);
    }
    public static Int64? ToNullableInt64(Object
value)
    {
        if (value is Int64)
        {
            return (Int64)value;
        }

        Int64 result;

```

```

        if (!Int64.TryParse(Convert.ToString(value),
NumberStyles.Any, InvariantNumberFormat, out result))
        {
            return null;
        }

        return result;
    }

    public static SByte ToSByte(Object value)
    {
        return Convert.ToSByte(value,
InvariantNumberFormat);
    }
    public static SByte? ToNullableSByte(Object
value)
    {
        if (value is SByte)
        {
            return (SByte)value;
        }

        SByte result;
        if (!SByte.TryParse(Convert.ToString(value),
NumberStyles.Any, InvariantNumberFormat, out result))
        {
            return null;
        }

        return result;
    }

    public static float ToFloat(Object value)

```

```

        {
            return ToSingle(value);
        }
        public static float? ToNullableFloat(Object
value)
        {
            return ToNullableSingle(value);
        }

        public static Single ToSingle(Object value)
        {
            return Convert.ToSingle(value,
InvariantNumberFormat);
        }
        public static Single? ToNullableSingle(Object
value)
        {
            if (value is Single)
            {
                return (Single)value;
            }

            String correctDouble;
            if
(TryGetCorrectDouble(Convert.ToString(value), out
correctDouble))
            {
                Single dec;
                if (Single.TryParse(correctDouble,
NumberStyles.Any, InvariantNumberFormat, out dec))
                {
                    return dec;
                }
            }
        }
    }

```



```

        }

        return null;
    }

    public static String ToString(Object value)
    {
        return Convert.ToString(value);
    }

    public static ushort ToUShort(Object value)
    {
        return ToUInt16(value);
    }
    public static ushort? ToNullableUShort(Object
value)
    {
        return ToNullableUInt16(value);
    }

    public static UInt16 ToUInt16(Object value)
    {
        return Convert.ToUInt16(value,
InvariantNumberFormat);
    }
    public static UInt16? ToNullableUInt16(Object
value)
    {
        if (value is UInt16)
        {
            return (UInt16)value;
        }
    }

```

```

        UInt16 result;
        if (!UInt16.TryParse(Convert.ToString(value),
NumberStyles.Any, InvariantNumberFormat, out result))
        {
            return null;
        }

        return result;
    }

    public static uint ToUInt(Object value)
    {
        return ToUInt32(value);
    }
    public static uint? ToNullableUInt(Object value)
    {
        return ToNullableUInt32(value);
    }

    public static UInt32 ToUInt32(Object value)
    {
        return Convert.ToUInt32(value,
InvariantNumberFormat);
    }
    public static UInt32? ToNullableUInt32(Object
value)
    {
        if (value is UInt32)
        {
            return (UInt32)value;
        }

        UInt32 result;

```

```

        if (!UInt32.TryParse(Convert.ToString(value),
NumberStyles.Any, InvariantNumberFormat, out result))
        {
            return null;
        }

        return result;
    }

    public static ulong ToULong(Object value)
    {
        return ToUInt64(value);
    }
    public static ulong? ToNullableULong(Object
value)
    {
        return ToNullableUInt64(value);
    }

    public static UInt64 ToUInt64(Object value)
    {
        return Convert.ToUInt64(value,
InvariantNumberFormat);
    }
    public static UInt64? ToNullableUInt64(Object
value)
    {
        UInt64 result;
        if (!UInt64.TryParse(Convert.ToString(value),
NumberStyles.Any, InvariantNumberFormat, out result))
        {
            return null;
        }
    }

```

```

        return result;
    }

    public static Guid ToGuid(Object value)
    {
        var result = ToNullableGuid(value);
        return result.GetValueOrDefault();
    }

    public static Guid? ToNullableGuid(Object value)
    {
        if (value is Guid)
        {
            return (Guid)value;
        }

        var strValue = Convert.ToString(value);

        Guid guid;
        if (Guid.TryParse(strValue, out guid))
        {
            return guid;
        }

        return null;
    }

    public static TimeSpan ToTimeSpan(Object value)
    {
        if (value is TimeSpan)
        {
            return (TimeSpan)value;
        }
    }

```

```

        var strValue = Convert.ToString(value);
        return TimeSpan.Parse(strValue);
    }
    public static TimeSpan? ToNullableTimeSpan(Object
value)
    {
        if (value is TimeSpan)
        {
            return (TimeSpan)value;
        }

        var strValue = Convert.ToString(value);

        TimeSpan timeSpan;
        if (TimeSpan.TryParse(strValue, out
timeSpan))
        {
            return timeSpan;
        }

        return null;
    }

    public static TEnum ToEnum<TEnum>(Object value)
    {
        return (TEnum)Enum.Parse(typeof(TEnum),
Convert.ToString(value));
    }
    public static TEnum? ToNullableEnum<TEnum>(Object
value) where TEnum : struct, IConvertible
    {
        TEnum result;

```

```

        if (Enum.TryParse(Convert.ToString(value),
out result))
    {
        return result;
    }

    return null;
}

public static bool IsUnderEnum(Type type, int
value)
    {
        var valueNames =
Convert.ToString(Enum.ToObject(type, value));

        var valueNamesArr = Regex.Split(valueNames,
@"\W", RegexOptions.IgnoreCase);

        var valueNamesSet = new
HashSet<String>(valueNamesArr,
StringComparer.OrdinalIgnoreCase);

valueNamesSet.RemoveWhere(String.IsNullOrEmpty);

        var enumNamesSet = new
HashSet<String>(Enum.GetNames(type),
StringComparer.OrdinalIgnoreCase);

valueNamesSet.ExceptWith(enumNamesSet);

return (valueNamesSet.Count == 0);
}

```

```

public static long? ToTimestamp(DateTime?
dateTime)
{
    if (dateTime == null)
        return null;

    var epoch = new DateTime(1970, 1, 1, 0, 0, 0,
DateTimeKind.Utc);
    var utcDate =
dateTime.Value.ToUniversalTime();
    var result = utcDate.Subtract(epoch);
    return (long)result.TotalMilliseconds;
}

public static bool IsNullOrEmpty(Object obj)
{
    if (obj == null)
        return true;

    var collection = obj as ICollection;
    if (collection != null)
    {
        return collection.Count == 0;
    }

    var @string = Convert.ToString(obj);
    return String.IsNullOrEmpty(@string);
}

public static bool IsNullOrWhiteSpace(Object obj)
{
    if (obj == null)
        return true;

```

```

        var collection = obj as ICollection;
        if (collection != null)
        {
            return collection.Count == 0;
        }

        var @string = Convert.ToString(obj);
        return String.IsNullOrEmpty(@string);
    }

    private static bool TryGetCorrectDouble(String
text, out String result)
    {
        result = null;

        if (!DoubleRegex.IsMatch(text))
        {
            return false;
        }

        var match = DoubleRegex.Match(text);

        var mantis = match.Groups["mantis"].Value;
        var exponent =
match.Groups["exponent"].Value;

        result = String.Concat(mantis,
NumberDecimalSeparator, exponent);
        return true;
    }

    private static bool TryGetDateTime(String text,
out DateTime dateTime)

```



```
    {
        if (!DateTimeParser.TryParse(text,
AllowedDateTimeFormats, out dateTime))
        {
            if (!DateTime.TryParseExact(text,
AllowedDateTimeFormats, InvariantDateFormat,
DateTimeStyles.None, out dateTime))
            {
                return false;
            }
        }

        return true;
    }
}
```