

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ხელნაწერის უფლებით

ნიკოლოზ ჯავშანაშვილი

განახლებადი ენერჯის წყაროების პოტენციალის გარდაქმნისა და  
აკუმულაციის კომპლექსური მეთოდის შემუშავება

დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად  
წარდგენილი დისერტაციის

ა ვ ტ ო რ ე ფ ე რ ა ტ ი

თბილისი

2014 წელი

სამუშაო შესრულებულია საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის  
ენერგეტიკისა და ტელეკომუნიკაციის ფაკულტეტის  
თბო და ჰიდროენერგეტიკის დეპარტამენტის  
----- მიმართულებაზე

სამეცნიერო ხელმძღვანელი: პროფესორი ნოდარ ქვეციშვილი

რეცენზენტები: -----  
-----

დაცვა შედგება ----- წლის ”-----“ -----, ----- საათზე  
საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის -----  
----- ფაკულტეტის სადისერტაციო საბჭოს  
კოლეგიის სხდომაზე, კორპუსი -----, აუდიტორია -----  
მისამართი: 0175, თბილისი, კოსტავას 77.

დისერტაციის გაცნობა შეიძლება სტუ-ს ბიბლიოთეკაში,  
ხოლო ავტორეფერატისა – სტუ-ს ვებ-გვერდზე

სადისერტაციო საბჭოს მდივანი -----

## ნაშრომის ზოგადი დახასიათება

### თემის აქტუალობა

მსოფლიოში არსებულმა გლობალურმა პრობლემებმა, როგორებიცაა წიაღისეული ენერგორესურსების მარაგის შემცირებით გამოწვეული ენერგეტიკული კრიზისი და გარემოს ეკოლოგიური დაბინძურების შედეგად მიღებული გლობალური დათბობის პროცესი, აუცილებელი გახდა ალტერნატიული, ეკოლოგიურად სუფთა, განახლებადი ენერჯიების წყაროების მაქსიმალური ათვისება და მათი გამოყენება პრაქტიკული დანიშნულებით. ამ რესურსების გამოყენების აუცილებლობას და ეფექტურობას ძირითადად მათი ამოუწურვადობა და ეკოლოგიური სისუფთავე განსაზღვრავს. ამდენად, წინა პლანზე დგება ისეთი ახალი ტექნოლოგიების შექმნა, რომლებიც ეფექტურად გამოიყენებენ განახლებად ენერჯიის წყაროებს და ამავე დროს არ დააბინძურებენ გარემოს.

დედამიწაზე არსებული ყველა ენერგორესურსის პირველწყაროა მზის ენერჯია, რომელიც ზედაპირზე აღწევს უზარმაზარი რაოდენობის გამოსხივებით - ყოველწლიურად დაახლოებით  $0,3 \cdot 10^{18}$  კვტსთ ოდენობით. მზის გამოსხივება თერმოდინამიკური თვალსაზრისით არის მაღალხარისხიანი ენერჯიის პირველადი წყარო, რომლის გარადაქმნაც შეიძლება ენერჯიის სხვა სახეობად (სითბო, ელექტროენერჯია და ა.შ.). მის ერთ-ერთ მნიშვნელოვან ნაკლს ტექნიკური თვალსაზრისით წარმოადგენს მისი არასტაბილურობა (სეზონურობა, დღეღამურობა, ამინდზე დამოკიდებულობა) და მზის გამოსხივების ენერგეტიკული ნაკადის შედარებით მცირე სიმკვრივე: ატმოსფეროს გარეთ  $1,4$  კვტ/მ<sup>2</sup>-ია, ხოლო დედამიწის ზედაპირზე შუადღისას, უღრუბლო, მზიანი ამინდის დროს არ აღემატება  $1$  კვტ/მ<sup>2</sup>-ს და მისი საშუალო წლიური მნიშვნელობა ამინდის ცვლილებების, ღრუბლიანობის, ღამის და სეზონების გათვალისწინებით დედამიწის ყველაზე მზიანი რაიონებისთვის  $150$ -დან  $250$  კვტ/მ<sup>2</sup>-მდეა.

## **სამუშაოს მიზანი**

ენერგეტიკული და ეკოლოგიური პრობლემების გადაწყვეტის კუთხით ერთ-ერთ ყველაზე პერსპექტიულ მიმართულებად მიჩნეულია მზის ენერგოგარდამქმნელი სისტემების დამუშავება და დანერგვა სტირლინგის ციკლით მომუშავე თბური ძრავის ბაზაზე.

დისერტაციაში აღწერილი სამუშაოს მიზანია სტირლინგის ძრავის მოდელირება და მათემატიკურ ანალიზზე დაფუძნებული თეორიული კვლევით მიღებულ შედეგთან მიახლოებული რეალური თხევადდგუშვითი სტირლინგის ძრავის ექსპერიმენტალური მოდელის შექმნა.

ამ მიმართულებით ჩატარებულმა აღნიშნულმა კვლევებმა მნიშვნელოვანი ბიძგი უნდა მისცეს უფრო ფართო მასშტაბით იმ უზარმაზარი ენერჯის სასარგებლოდ გამოყენებას, რომელიც მზის აქტიური რადიაციის პერიოდში გაგვაჩნია. მთლიანად სისტემა უნდა იყოს მარტივი და იაფი ელემენტებისაგან შემდგარი ხანგრძლივი გამოყენების რესურსით.

## **კვლევის ობიექტი და მეთოდები**

სტირლინგის ძრავი არის უნიკალური თბური მანქანა იმდენად, რამდენადაც მას გააჩნია მაღალი თერმოდინამიკური ეფექტურობა და სხვა ძრავებთან შედარებით ყველაზე ეკოლოგიურია. სტირლინგის ძრავის გამორჩეულობა სხვა ძრავებთან შედარებით არის აგრეთვე მისი უნივერსალურობა თბური ენერჯის წყაროს გამოყენების თვალსაზრისით. ეს წყარო შეიძლება იყოს ნებისმიერი თბური ენერჯია შესაბამისი ტემპერატურით, მაგალითად: მზის ენერჯია, აკუმულირებული თბური ენერჯია, წვის პროდუქტების ენერჯია და ა.შ.

ჩვენს მიერ ძრავში მიმდინარე ფიზიკური პროცესების აღწერისათვის მთელი სისტემა დაყოფილი იქნა ელემენტარულ კვანძებად, ხოლო განტოლებების ამოსახსნელად გამოყენებული იყო რიცხვითი მეთოდები.

სადისერტაციო ნაშრომში აღწერილია თხევადდგუშიანი სტირლინგის ძრავის დინამიკის მათემატიკური მოდელი და გაანგარიშებულია თბოცვლის პროცესები რეგენერატორში. ასევე, წარმოდგენილია სტირლინგის ძრავის ახალი სქემის თერმო და გაზოდინამიკური მოდელი და რეგენერატორში ტემპერატურების განაწილების გაანგარიშების მეთოდის კვაზისტაციონარული მნიშვნელობის მისაღწევად. რიცხვითი მეთოდებით გაანგარიშებულია თხევადდგუშიანი სტირლინგის ძრავის თერმოდინამიკური ციკლის პარამეტრები ხურების ტემპერატურისა და წნევისგან დამოკიდებულებით.

### **ნაშრომის ძირითადი შედეგები და მეცნიერული სიახლე**

თხევად ლითონიანი დგუშების გამოყენება მნიშვნელოვნად ამარტივებს და აიაფებს ძრავის შექმნას, რადგან თხევადი დგუში არ საჭიროებს ცილინდრების დიდი სიზუსტით დამზადებას.

ჩვენს მიერ წარმოდგენილ ძრავის მაცივარში სითბოგადაცემის ინტენსიფიკაციას თხევადი დგუშისა და მყარტანიანი დისფლესერის შეთანწყობით მივაღწიეთ. დისფლესერის მოძრაობა განხორციელდა მაგნიტური ქუროს გამოყენებით, რამაც თავის მხრივ თხევადი დგუშის გადაადგილება უზრუნველყო ცხელ და ცივ არეებს შორის. ვინაიდან, დისფლესერი გარკვეული ღრეჩოთი იყო შესრულებული მაცივრის ცილინდრში, მკვდარი მოცულობის გამოსარიცხად გამოვიყენეთ მაღალი სიმკვრივის მქონე თხევადი დგუშთან ერთად თხევადი, დაბალი სიმკვრივის ნივთიერება ღრეჩოს შემავსებლად. ანუ, გამაცხელებელში მკვდარი მოცულობა ამ კონსტრუქციული გადაწყვეტით აღმოიფხვრა (მკვდარი მოცულობა დარჩა მხოლოდ რეგენერატორში).

კუმშვისა და გაფართოების პროცესები მიმდინარეობდა მაქსიმალურად იზოთერმულად, რადგან თხევადი დგუშის გამოყენებამ შიდა თბოცვლის მეტი

ინტენსიფიკაცია გამოიწვია დგუმისა და მუშა სხეულის უშუალო კონტაქტის ხარჯზე.

### **შედეგების გამოყენების სფერო**

ეკოლოგიური და ენერგეტიკული პრობლემების გადასაწყვეტად სტირლინგის ციკლით მომუშავე თბური ძრავის გამოყენება, მზის რადიაციის ელექტრო ენერგიად გარდაქმნაში, საკმაოდ პერსპექტიული მიმართულებაა.

კლასიკურ სტირლინგის ძრავში გამოყენებულია მყარტანიანი დგუმები და მექანიკურ ამძრავიანი რთული სისტემები, რომლებიც პირდაპირი გაცხელების მეთოდს იყენებს. აღნიშნული სისტემები საკმაოდ ძვირი ჯდება და ექსპლუატაციის შეზღუდული რესურსით ხასიათდება.

თხევადდგუმიანი სტირლინგის ძრავის ირიბი გაცხელების მეთოდის გამოყენებით და წყალბადის სახით ენერგიის აკუმულირებით მნიშვნელოვნად მარტივდება, როგორც მთლიანი სისტემის დამზადება, ასევე მისი შემდგომი ექსპლუატაცია. აღსანიშნავია, რომ მიღებული წყალბადი შეიძლება აკუმულირებული იქნას შემდგომ ბუნებრივი აირის მაგისტრალეებში არსებულ აირებთან შერევით ან გარდაიქმნას ელექტროენერგიაში სითბური ელემენტების გამოყენებით საავტომობილო ტრანსპორტში.

### **სადისერტაციო ნაშრომის აპრობაცია**

დისერტაციის ძირითადი დებულებები და შედეგები მოხსენებული და განხილული იყო საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენციებზე:

1) USAID-ის Hydro Power Promotion Project-ის ფარგლებში ორგანიზებული კონფერენცია - „ახალგაზრდა ინჟინრების როლი საქართველოს ენერგეტიკის სექტორში“ – თემაზე: „სტირლინგის ძრავის გამოყენების პერსპექტივები განახლებადი ენერგიების წყაროების სფეროში“. (ქ.თბილისი, საქართველო. 2013წ).

2) Winrock International-ის მიერ ორგანიზებული მე-2 საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენცია - „ენერგეტიკა: რეგიონული პრობლემები და განვითარების პერსპექტივები“ – თემაზე: „განახლებადი ენერჯის წყაროების პოტენციალის გარდაქმნა სტირლინგის ძრავის ბაზაზე“. (ქ.ქუთაისი, საქართველო. 2013წ).

### **პუბლიკაციები**

სადისერტაციო ნაშრომის ძირითადი შედეგები გამოქვეყნებულია სამეცნიერო ჟურნალებში:

1) ქევხიშვილი.ნ., ჯავშანაშვილი.ნ. თხევადდგუმიანი სტირლინგის ძრავის თერმო და გაზოდინამიკური ანალიზი. Georgian Engineering News. 2014. №1 (vol.69). გვ. 50-54.

2) ჯავშანაშვილი.ნ. თხევადდგუმიანი სტირლინგის ძრავის დინამიური მოდელი. ენერჯია. 2014წ. №1 (69). გვ. 50-52.

3) ქევხიშვილი.ნ., ჯავშანაშვილი.ნ. თხევადდგუმიანი სტირლინგის ძრავი. Georgian Engineering News. 2013. №2 (vol.66). გვ. 60-63.

### **სემინარები და კოლოქვიუმები**

დისერტაციაზე მუშაობის პერიოდში ჩატარებული სამუშაოები და მიღებული შედეგები წარმოდგენილი და განხილული იყო საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტში 2 თემატურ სემინარსა და 3 კოლოქვიუმზე. (ქ.თბილისი, საქართველო. 2012-2014წწ).

### **დისერტაციის მოცულობა და სტრუქტურა**

დისერტაცია შედგება შემდეგი ნაწილებისგან: შესავალი, ლიტერატურის მიმოხილვა, 5 თავი შესრულებული სამუშაოს შესახებ, შედეგები და მათი განსჯა, დასკვნა, გამოყენებული ლიტერატურის სია, 1 დანართი.

დისერტაცია შეიცავს 4 ცხრილს და 51 ნახაზს. ნაშრომის მოცულობა შეადგენს 127 გვერდს ცხრილების, ნახაზებისა და დანართის ჩათვლით და წარმოდგენილია ნაბეჭდი სახით თაბახზე.

### **ნაშრომის მოკლე შინაარსი**

**შესავალში** დასაბუთებულია სადისერტაციო თემის აქტუალობა, ჩამოყალიბებულია კვლევის მიზანი და ამოცანები, განსაზღვრულია ნაშრომის მეცნიერული სიახლე და მოყვანილია ის ძირითადი დებულებები, რომლებიც წარმოდგენილი იქნება დისერტაციის დაცვაზე.

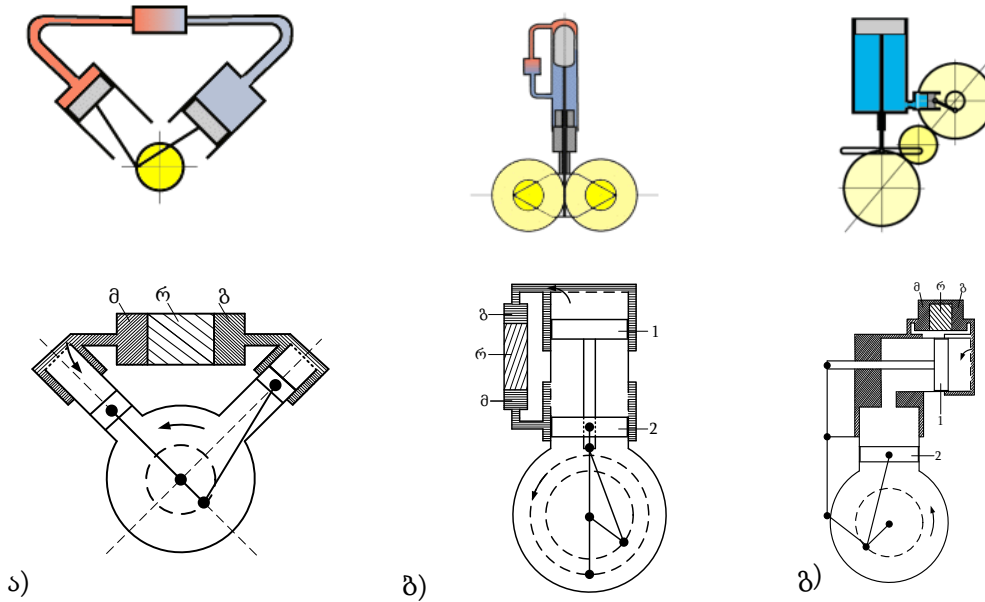
**პირველ თავში** „სტირლინგის ძრავების კლასიფიკაცია და შეერთების სქემები“ განხილულია სტირლინგის ძრავების სხვადასხვა ვარიაციები, ცილინდრებისა და დგუშების შეერთების სქემები, გამოყენებული მუშა სხეულები, ჰერმეტიზაციისა და მაღალეფექტური სტირლინგის ძრავის შექმნის პრობლემები.

სტირლინგის ძრავების დაყოფა შესაძლებელია შემდეგი ნიშნების მიხედვით: ა) მუშაობის რეჟიმი; ბ) ცილინდრების შეერთების სქემები; გ) დგუშების შეერთების სქემები.

მუშაობის რეჟიმის მიხედვით სტირლინგის ძრავი შეიძლება წარმოდგენილი იქნეს ექვს სხვადასხვა ტიპად, ესენია: 1. მარტივი ქმედების; 2. ორმაგი ქმედების; 3. ერთფაზა მუშა სხეულით; 4. მრავალფაზა მუშა სხეულით; 5. რეზონანსული; 6. არარეზონანსული.

ცილინდრების შეერთების სამი ტიპის სქემა გამოიყენება: 1. ალფა; 2. ბეტა; 3. გამა (ნახ.1).



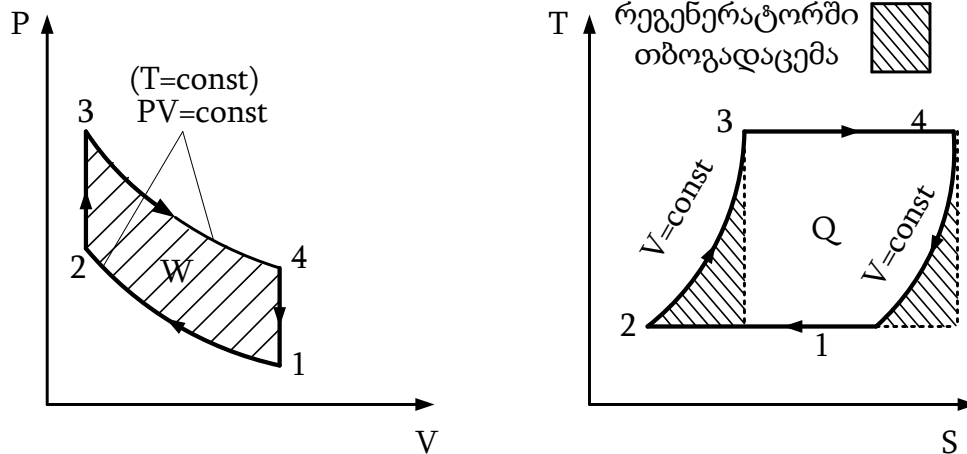


ნახ.1. ცილინდრების შეერთების სქემები: ა)ალფა, ბ)ბეტა, გ)გამა.  
 1- დისფლეისერი, 2- მუშა დგუში, მ-მაცივარი, რ-რეგენერატორი, გ-გამაცხელებელი.

სტირლინგის ძრავების შესრულების ყველა ვარიანტში მუშა დგუმის და დისფლეისერის ფუნქციონალური დანიშნულება ერთმანეთისგან განსხვავებულია: მუშა დგუმი იმყოფება წნევის მნიშვნელოვანი ზემოქმედების ქვეშ პრაქტიკულად მუშა სხეულის მუდმივი ტემპერატურით, ხოლო დისფლეისერზე მოქმედებს წნევის უმნიშვნელო ვარდნა მუშა სხეულის დიდი ტემპერატურული ვარდნით. დისფლეისერის ფუნქციაა ამ დროს აირი გადადენოს ერთი მოცულობიდან მეორეში.

დგუმების შეერთების სქემები ძრავების დამატებითი კლასიფიკაციის ნიშნებს მოიცავს. სტირლინგის ძრავებში გამოიყენება დგუმების შეერთების ძირითადად სამი ფორმა: 1) ხისტი შეერთება; 2) შეერთება აირის გამოყენებით; 3) შეერთება სითხის გამოყენებით.

სტირლინგის ციკლი აერთიანებს 4 პროცესს: ორ მუდმივი ტემპერატურის პროცესს და ორ მუდმივი მოცულობის პროცესს. ეს პროცესები ნაჩვენებია „წნევა–მოცულობა“ და „ტემპერატურა–ენტროპია“ დიაგრამებზე (ნახ.2).



ნახ.2. სტირლინგის იდეალური ციკლის თერმოდინამიკური დიაგრამები.

მუშაობა სრულდება ან იწარმოება ციკლში მხოლოდ იზოთერმული პროცესების დროს. შესრულებული დადებითი მუშაობის რაოდენობა წარმოდგენილია 1-2-3-4 არეში p-v დიაგრამაზე, ხოლო ციკლში მუშა სხეულზე მიწოდებულის სითბოს რაოდენობა წარმოდგენილია T-s დიაგრამაზე 1-2-3-4- არეში .

სტირლინგის ციკლის მნიშვნელოვანი უპირატესობაა რეგენერატორის ეფექტურად გამოყენების უნარი. როგორც T-s დიაგრამაზეა გრაფიკულად ნაჩვენები მუშა სხეულზე ართმეული სითბო შესაძლებელია განმეორებით გამოვიყენოთ იმავე მუშა სხეულის გაცხელების პროცესში.

ზოგადად თერმოდინამიკური ციკლის მ.ე.კ. განისაზღვრება შემდეგი სახით :

$$\eta_G = \frac{Q_S - Q_R}{Q_S} \quad (1)$$

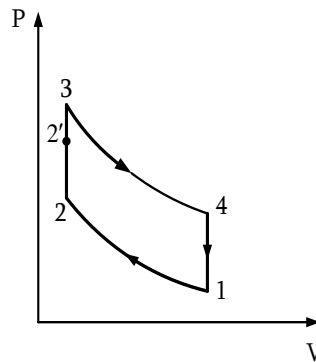
სადაც,  $Q_S$  -არის მუშა სხეულზე მიწოდებული თბური ენერგია,

$Q_R$  -ართმეული თბური ენერგია.

სტირლინგის იდეალური ციკლისთვის მიღებულია, რომ თბური ენერგია, რომელიც გამოიყოფა 4-1 პროცესში ტოლია 2-3 პროცესში შთანთქმული ენერგიის,

შესაბამისად გარემოსთან თბოცვლა მიმდინარეობს მხოლოდ იზოთერმულ 1-2 და 3-4 პროცესებში.

რეალურ ციკლში ცხადია სითბოს გადაცემა რეგენერატორზე და უკან მუშა სხეულზე სრულად ვერ ხორციელდება, ანუ საქმე გვაქვს რეგენერატორის არაეფექტურ მუშაობასთან. როდესაც რეგენერატორის მუშაობა არ არის იდეალური, 2-3 პროცესი რეგენერატორში არ სრულდება სრულყოფილად და აირის ტემპერატურა აღწევს მხოლოდ 2' - წერტილის მდგომარეობას (ნახ.3). 2' -3 პროცესი შესაძლებელია განხორციელდეს მხოლოდ გარემოსთან თბოცვლის საშუალებით.



ნახ.3 სტირლინგის ძრავის თერმოდინამიკური ციკლი.

რეგენერატორის ეფექტურობა შეიძლება ფასდება შემდეგი ფორმულით:

$$\nu = \frac{T_{2'} - T_1}{T_3 - T_1} \quad (2)$$

ამგვარად, ძრავის მ.ქ.კ.-ის განსაზღვრისას საჭიროა გავითვალისწინოთ  $Q_{2'-3}$  -თბური ენერგია, რომელიც დამატებითაა საჭირო გარემოდან მისაღებად.

სტირლინგის ძრავში მუშა სხეულეზად იყენებენ სხვადასხვა ნივთიერებებს (ჰაერი, ჰელიუმი წყალბადი). ოპტიმალურ მუშა სხეულად ითვლება ის გაზი, რომლის თვისებებიდან გამომდინარე მაქსიმალურია თბოგაცემის კოეფიციენტი და მინიმალურია ჰიდრავლიკური წინაღობა. ამ პირობებს ყველაზე უკეთ აკმაყოფილებს წყალბადი, შემდეგ ჰელიუმი და ა.შ. ჩვენს მიერ ჩატარებულ

ექსპერიმენტებში უსაფრთხოებიდან გამომდინარე უპირატესობა მიენიჭა ჰელიუმს.

სტირლინგის ძრავების გამაცხელებლები შეიძლება დავეყთ ორ ტიპად – მილოვანი და გაწიბოვნებული ზედაპირით, რომლებშიც თბოგადაცემა ხორციელდება შემდეგი პროცესების ხარჯზე:

–კონვენციური თბოცვლა მილების ან გაწიბოვნებული ზედაპირების გარე მხარესა და მაღალტემპერატურულ თბომტარს შორის;

–თბოგამტარობით მილების კედლებზე;

–კონვენციური თბოცვლა მილების შიგა ზედაპირსა და ძრავის მუშა სხეულს შორის.

სტირლინგის ძრავი დიდი გაბარიტების მაცივარს მოითხოვს, რაც გამოწვეულია იმით, რომ მუშა სხეულმა, რომლის რაოდენობა მუდმივია ციკლში, მთელი სითბო უნდა გადასცეს მაცივარს. ამის გამო საშუალო და დიდი სიმძლავრის ძრავებში მუშა სხეული შუალედური თხევადი თბომტარით ცივდება. უფრო ხშირად გამოიყენება წყალი, რომელსაც გააჩნია მაღალი თბოგაცემის კოეფიციენტი.

სტირლინგის ძრავის მიერ გამომუშავებული სიმძლავრე თითქმის პირდაპირპროპორციულია ციკლის საშუალო წნევის, ამიტომ იმისათვის, რომ მიღებული იქნეს როგორც აბსოლუტური, ასევე კუთრი სიმძლავრის მაღალი მნიშვნელობები, მუშა სხეულის წნევა ძრავში უნდა შეადგენდეს 10÷20 მგპა. წნევის ასეთი მაღალი მნიშვნელობები ძრავის პროექტირების დროს ქმნის სპეციფიკურ პრობლემებს. განსაკუთრებით რთულია პრობლემების გადაწყვეტა, რომელიც დაკავშირებულია:

- მუშა სხეულის ჰერმეტიზაციასთან;
- თბურ დამაბულობებთან თბომცვლელებში;
- ამძრავში მაღალ მექანიკურ დატვირთვებთან საკისრებზე და მექანიზმებზე.

სტირლინგის ძრავებში მუშა სხეულის ჰერმეტიზაცია შეიძლება ითქვას ერთ-ერთი უმთავრესი პრობლემად. სტირლინგის ძრავში არსებობს ორი ელემენტი, სადაც ყველაზე დიდია მუშა სხეულის გადინება, ესენია: დგუმის ღერძი და მაღალტემპერატურული თბომცვლელი.

რაც მეტია ამძრავის მექანიზმში მოძრავი დეტალების რაოდენობა, როგორც წესი მით ნაკლებია ძრავის მ.ქ.კ. და რესურსი.

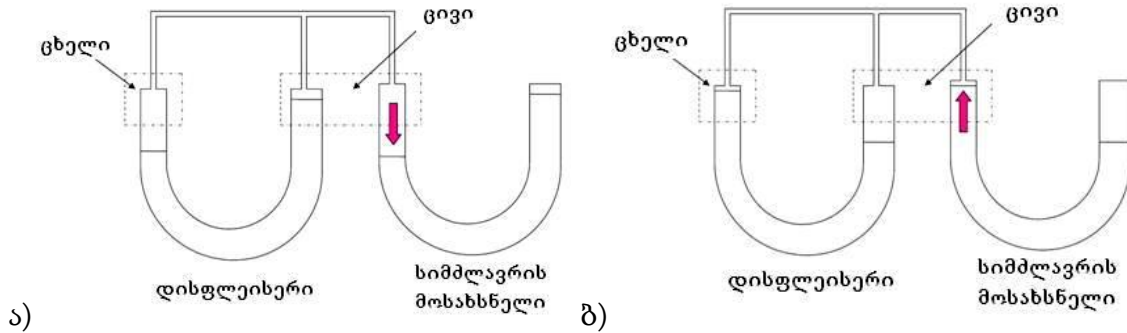
**მეორე თავში** „თხევადდგუმიანი სტირლინგის ძრავების ანალიზი“ გაანალიზებულია „ფლუიდანის“ ტიპის ძრავები და იძულებით ამძრავიანი თხევადდგუმიანი ძრავები.

„ფლუიდანის“ ტიპის ძრავების სტირლინგის ძრავების სხვა ტიპებისგან რადიკალური განსხვავება გამოიხატება იმაში, რომ მუშა სხეულის მოცულობების ცვლილება ხორციელდება სითხის სვეტების გადაადგილებით და არა მყარი ტანისგან დამზადებული დგუმებით. ატმოსფერულ წნევაზე მომუშავე ფლუიდანის ძრავი არის დაბალ სიმძლავრიანი მექანიზმი.

„ფლუიდანის“ ტიპის ძრავების ძირითადი ელემენტია U-ს მაგვარი მილი, რომელშიც გარკვეული სიხშირით ირხევა სითხის სვეტი. ამ ძრავებიდან ენერჯის გადაცემის სამი სხვადასხვა ვარიანტი არსებობს: 1) წნევათა სხვაობის ხარჯზე; 2) ძრავის მოქანავე კონსტრუქციიდან; 3) რეაქტიული ნაკადის ხარჯზე.

თხევადი დგუმების გამოყენების შემთხვევაში ძრავის კონსტრუქცია მნიშვნელოვნად მარტივდება. თხევადი დგუმი არ საჭიროებს ცილინდრების ზუსტ ზომებში შესრულებას. მისი მუშაობისას მექანიკური დგუმები, რომლებიც წარმოადგენს სითხის სვეტებს, გარკვეული სიხშირით გადაადგილდება ზიარ ქურქელში. როცა სვეტის ცხელი მხარე გათბება, მაშინ გაზრდილი ჰაერის წნევა მაღლა სწევს სითხეს ცივ მხარეზე და იმავდროულად დაბლა სწევს ცხელ მხარეზე (ნახ.4 ა). აქედან გამომდინარე სისტემაში არსებული ჰაერის უმეტესი რაოდენობა ცხელდება და შესაბამისად წნევა მთელ სისტემაში იზრდება. ნახევარი პერიოდის

შემდეგ სითხის სვეტები (დისფლეისერი) ბრუნდება უკან (ნახ.4 ბ). ამ შემთხვევაში პირიქით, ჰაერის უმეტესი რაოდენობა ცივდება, რის გამოც წნევა მთელ სისტემაში კლებულობს.



ნახ. 4. U-ს მაგვარი მილი

სითხის სვეტის რხევის მაქსიმალური ამპლიტუდის მისაღებად ნაკადის დანაკარგები უნდა იყოს რაც შეიძლება მცირე და ხოლო სიხშირე ახლოს უნდა იყოს სვეტების რეზონანსულ სიხშირესთან.

რხევის დასაწყებად საჭიროა მილის ერთ მხარეს სითხის დონე გადაადგილდეს რაიმე გარეშე ზემოქმედებით. როცა სითხის ზედაპირი აიწევს  $\chi$  მანძილამდე ერთ ბოლოზე, ის დაეცემა იმავე რაოდენობით მეორე ბოლოზე და შესაბამისად სითხის სვეტს ერთ მხარეზე ექნება უფრო მეტი მასა, ვიდრე მეორე ბოლოზე:

$$M = 2\chi\rho A_d \quad (3)$$

სადაც,

$\chi$  – სითხის სვეტის გადაადგილება;  $A_d$  – U-ს მაგვარი მილის განიკვეთის ფართობია;  $\rho$  – სითხის სიმკვრივეა.

შესაბამისად, წნევა სისტემაში გახდება  $P = 2\chi\rho g$ , ხოლო მის მიერ შექმნილი წნევის ძალა კი  $2\chi\rho g A_d$ . თუ გათვალისწინებთ დისფლეისერის სვეტის მასას –  $\rho A_d L_d$  და მომქმედი ძალის მნიშვნელობას, მაშინ სისტემის აჩქარება შეიძლება ვიანგარიშოთ როგორც:

$$A_d \rho L_d \ddot{\chi} = -2\chi A_d \rho g \quad (4)$$

$$\ddot{\chi} = \frac{-2gx}{L_D} \quad (5)$$

ეს არის განტოლება არადემფირებული მარტივი ჰარმონიული მოძრაობის და ბუნებრივი სიხშირე ომეგა  $\omega$  გამოითვლება როგორც:

$$\omega = \sqrt{\frac{2g}{L_D}} \quad \text{რად/წმ} \quad (6)$$

ან

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{2g}{L_D}} \quad \text{ჰც} \quad (7)$$

უკანასკნელი ფორმულის გამოყენებით შეგვიძლია განვსაზღვროთ რხევის სიხშირე. მაგალითად, თუ დისფლეისერის სიგრძე შეაგენს (1÷2 მ), მაშინ რხევის სიხშირე იქნება 0,5÷0,7 ჰერცი .

„ფლუიდაინის“ ტიპის ძრავიდან დიდი სიმძლავრის მისაღებად შემოთავაზებულია თხევადდგუშიანი სისტემები იძულებითი ამძრავით. თხევადი დგუშით აირის შეკუმშვის კონცეფცია ეფუძნება სითხის სვეტის მიერ აირის პირდაპირი მეთოდით შეკუმშვას უცვლელი მოცულობის კამერებში. სითხის სვეტის გამოყენებისას, დგუშის მოძრაობის დროს აირის გადაპარვები მთლიანად ისპობა და სრიალის ხახუნი იცვლება სითხის სიბლანტის ძალებით. რადგან სითხეს ნებისმიერი ფორმის მიღება შეუძლია, ამიტომ მუშა საკანის კონსტრუქცია შესაძლებელია იქნას ნებისმიერი ფორმის.

თხევადი დგუშის ამოძრავება შესაძლებელია სხვადასხვა გზით და დამოკიდებულია სიმძლავრის მოხსნის მეთოდზე. ერთ–ერთი მარტივი მეთოდი არის თხევადი დგუშის ამოძრავება პირდაპირი ჰიდრავლიკური ზემოქმედებით. თხევადი დგუში წარმოადგენს ჰიდრავლიკური სისტემის ნაწილს, სადაც მისი მოძრაობა იმართება სარქველების დახმარებით.

თხევადდგუშიანი სისტემა ასევე იძლევა საშუალებას მუშა საკანში სითხო აირზე გადაცემულ იქნას არა მარტო ცილინდრის შიდა კედლებიდან, არამედ სითხის სვეტზე უშუალო შეხებითაც. კუმშვა–გაფართოების საკნების

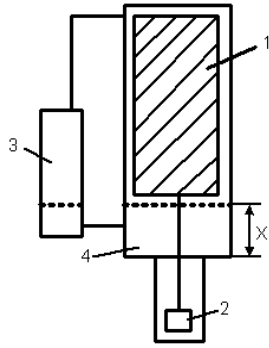
თბომცვლელებად გამოყენება სტირლინგის ძრავში გარეთ გატანილი თბომცვლელების გაუქმების საშუალებას იძლევა, რაც ამცირებს მთლიანობაში მკვადრ მოცულობებს ძრავში, ეს კი ზრდის კუმშვის კოეფიციენტს და შესაბამისად სიმძლავრეს.

თხევადდგუშიანი სისტემის შექმნას გარკვეული სირთულეებიც ახლავს. მაგალითად, როდესაც თხევადდგუშიანი სტირლინგის ძრავში მუშა სიხშირე იზრდება, ასევე იზრდება ზედაპირის არამდგრადობა და თხევადი სვეტის ამოფრქვევის ალბათობა. ამიტომ ამ ტიპის ძრავებს კონსტრუქციიდან გამომდინარე გარკვეული შეზღუდვები გააჩნიათ მუშაობის მაქსიმალურ სიხშირეზე. აგრეთვე, სითხე უნდა შეირჩეს ისეთი, რომ მას ჰქონდეს რაც შეიძლება აირის დაბალი ხსნადობა და აორთქლების მინიმალური შესაძლებლობა.

**მესამე თავში** „თხევადდგუშიანი სტირლინგის ძრავის ახალი სქემა და მისი ანალიზი“ აღწერილია სტირლინგის ძრავის დინამიკის მათემატიკური მოდელი და გაანგარიშებულია თბოცვლის პროცესები რეგენერატორში. ასევე, წარმოდგენილია სტირლინგის ძრავის ახალი სქემის თერმო და გაზოდინამიკური მოდელი და რეგენერატორში ტემპერატურების განაწილების გაანგარიშების მეთოდის კვაზისტაციონარული მნიშვნელობის მისაღწევად. განსაზღვრულია თხევადდგუშიანი სტირლინგის ძრავის თერმოდინამიკური ციკლის პარამეტრები ხურების ტემპერატურისა და წნევისგან დამოკიდებულებით.

ნახ.5-ზე წარმოდგენილია ორკომპონენტური თხევადი დგუშისა და მყარტანიანი დისფლუისერის მქონე ამძრავის სქემა, რომელიც ითვალისწინებს ერთფაზა მუშა სხეულით ერთობლივი რხევით იმოდრაობების შესწავლას.





- 1- დისფლესერი;
- 2- მაგნიტური ამძრავი;
- 3- მაღალტემპერატურული თბომცველი;
- 4- მაცივარი.

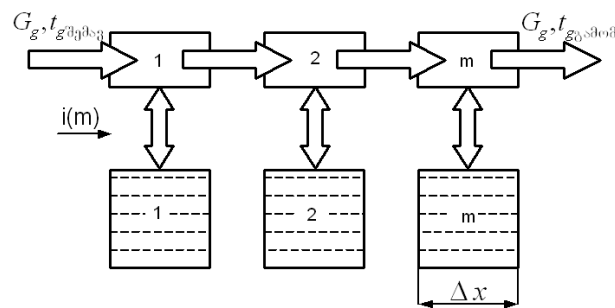
ნახ. 5 ამძრავის პრინციპიული სქემა.

რეგენერატორის მუშაობის რეჟიმი არასტაციონარულია, ხოლო თბოცვლა გაზის ნაკლებს შორის ხორციელდება რეგენერატორში არსებული მასალის სითბოტევადობის ხარჯზე.

რეალურ ძრავში ტემპერატურა მუშა სხეულის რეგენერატორის შესასვლელზე ან გამოსასვლელზე მუდმივი არ არის, რაც გამოწვეულია არა მარტო გაზის მოძრაობის პერიოდულობით, არამედ თბოგადაცემის კოეფიციენტისა და თბოცვლის ზედაპირის ფართობის სასრული მნიშვნელობით.

$$P = \frac{M \cdot R}{\frac{V_g^i}{T_g} + \frac{V_x^i}{T_x} + \sum \frac{V_R^i}{T_R^i}} \quad (8)$$

წნევის მნიშვნელობების განსაზღვრა, როგორც (8) განტოლებიდან ჩანს, მოითხოვს მთელი სისტემის ელემენტარულ კვანძებად დაყოფას და ასევე რეგენერატორის ელემენტარულ მოცულობებში მუშა სხეულის ტემპერატურების განსაზღვრას.



ნახ.6. რეგენერატორის კვანძები.

ნახ.6–ზე წარმოდგენილია რეგენერატორის ელემენტარულ მოცულობებად დაყოფის სქემა, რომელიც სქემატურად გვიჩვენებს მასში მიმდინარე თბოცვლის პროცესს გაზებსა და რეგენერატორის ზადის მასალას შორის.

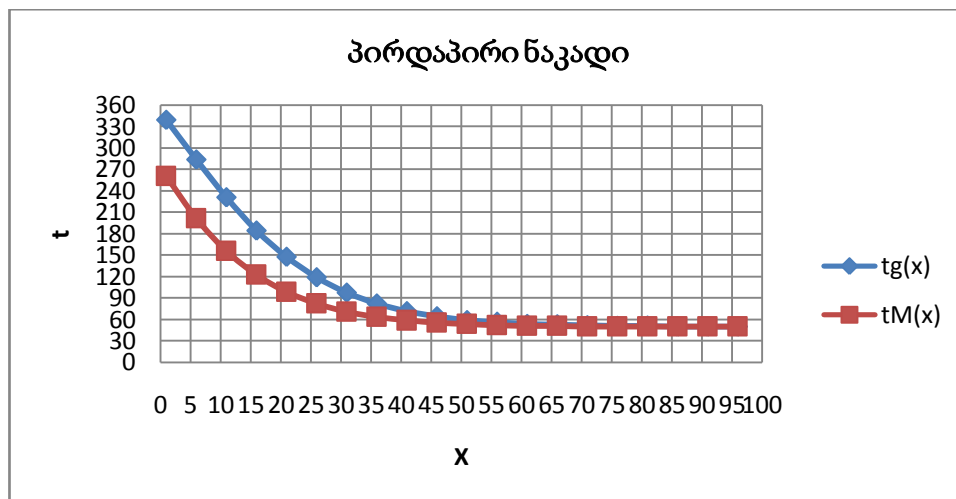
ძრავის რეგენერატორში საწყისი ცივი მდგომარეობიდან სტაციონარულ მუშა მდგომარეობამდე გადასვლისას ანგარიში ხორციელდება ე.წ. ასიპტოტური მიახლოებით, რომლის ამონახსნის კრებადობასა და მდგრადობას განსაზღვრავს კრიტერიუმი:

$$\frac{\alpha \cdot \Delta \tau}{\rho_g C_g \cdot \Delta \left( \frac{V_R}{f} \right)} \leq 10 \quad (9)$$

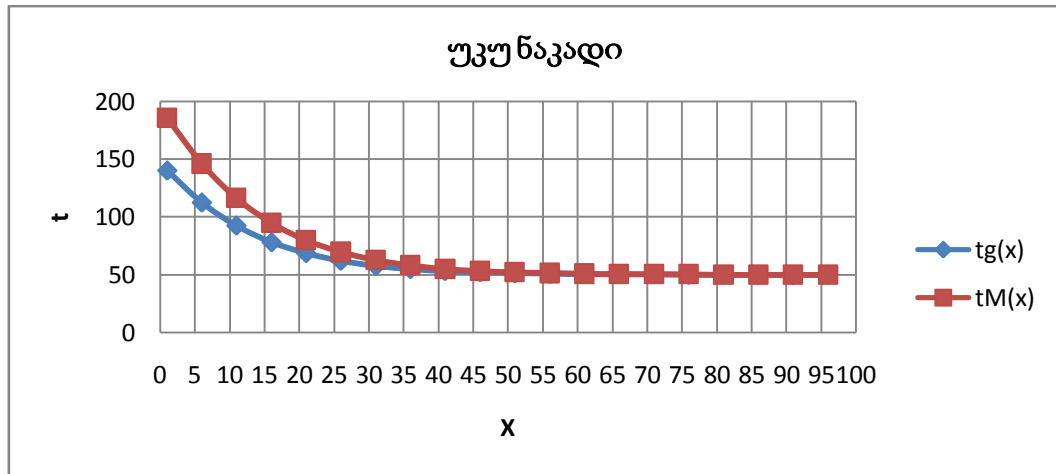
რეგენერატორში ტემპერატურის განაწილების საწყისი პირობები იყო შემდეგი:

$$\begin{aligned} t_g(x) &= T_x, & 0 < x \leq L \\ t_g(0) &= T_{\max}, & x=0 \end{aligned} \quad (10)$$

როგორც ნახ.7–დან ჩანს ერთი ციკლის განხორციელების შემდეგ რეგენერატორის მხოლოდ 40% გაცხელდა გარკვეულ ტემპერატურამდე პირდაპირი ნაკადით, როცა აირი გადადინდება ცხელი არედან მაცივრისაკენ. უკუ ნაკადში, ანუ მაცივრიდან ცხელი არესკენ მოძრაობისას რეგენერატორში ტემპერატურა კიდევ უფრო მცირდება (ნახ.8)

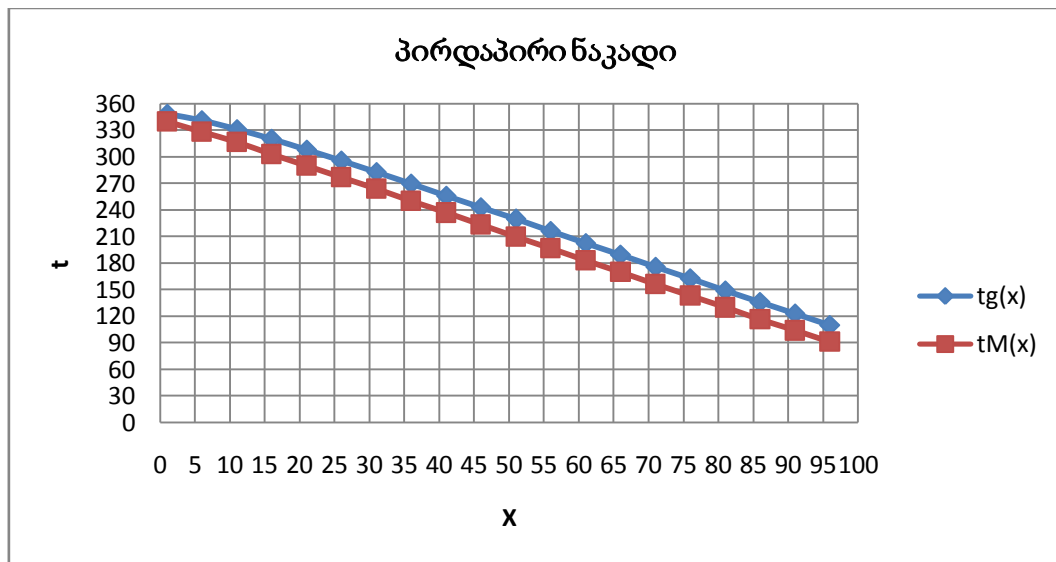


ნახ.7 რეგენერატორში ტემპერატურების განაწილება (ციკლების რაოდენობა K=1).

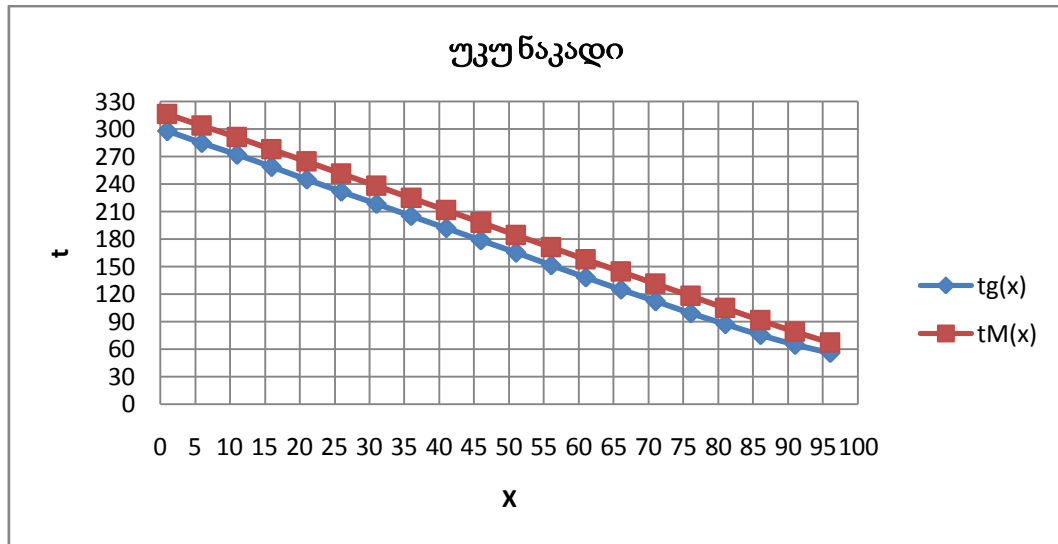


ნახ.8 რეგენერატორში ტემპერატურების განაწილება (ციკლების რაოდენობა  $K=1$ ).

ციკლების რაოდენობის შემდგომი ზრდისას (ნახ.9 და ნახ.10) ტემპერატურის განაწილება ასიმპტოტურად მიისწრაფის ზღვრული განაწილებისკენ, რომელიც რეგენერატორს გააჩნია მუშა პროცესში.



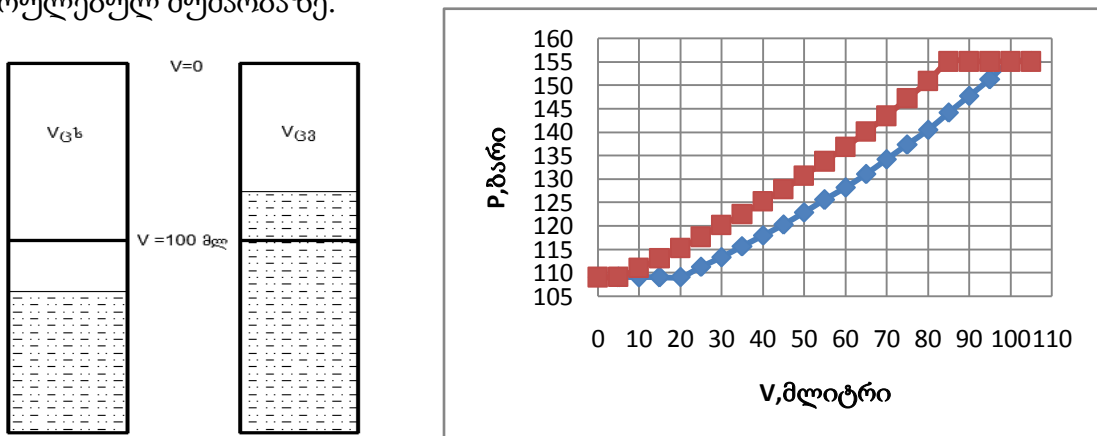
ნახ.9 რეგენერატორში ტემპერატურების განაწილება (ციკლების რაოდენობა  $K=70$ ).



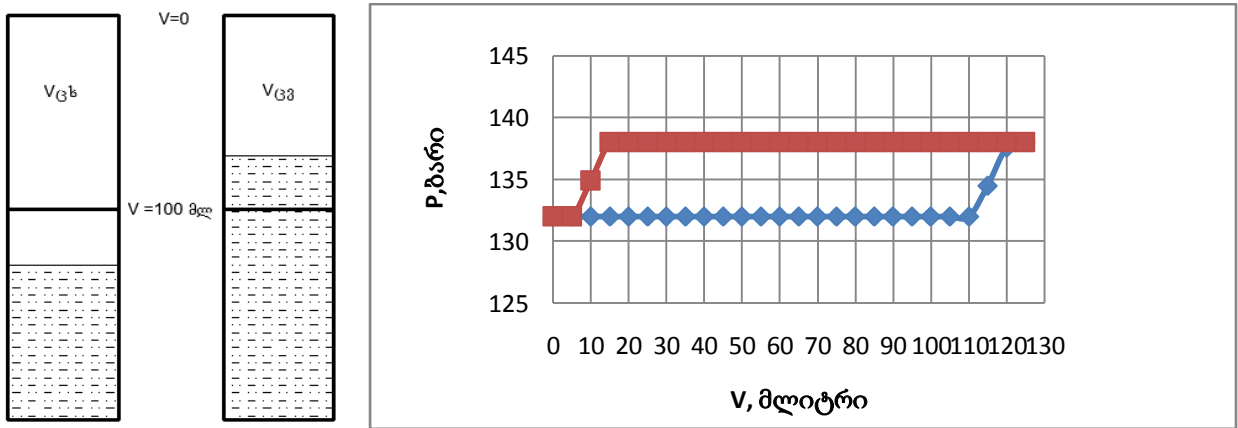
ნახ.10 რეგენერატორში ტემპერატურების განაწილება (ციკლების რაოდენობა  $K=70$ ).

ანგარიშებში გამახურებლისა და მაცივრის ტემპერატურები შეადგენდა ( $T_1=350^{\circ}\text{C}$ ,  $T_2=50^{\circ}\text{C}$ ), რაც შეესაბამება მზის რადიაციით შუალედური თბომტარის გახურების საორიენტაციო მნიშვნელობებს. ინდიკატორული დიაგრამები აგებული იქნა სააკუმულაციო მოცულობებში შეწოვისა და დაჭირხვნის წნევების სხვადასხვა მნიშვნელობებისთვის.

წარმოდგენილი დიაგრამებით შესაძლებელია შეფასდეს, როგორც ძრავის მიერ შესრულებული მუშაობა ასევე სიმძლავრე. როგორც ანგარიშებმა აჩვენა შეწოვა-დაჭირხვნის წნევები მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს ძრავის მიერ შესრულებულ მუშაობაზე.



ნახ.11 ძრავის ინდიკატორული დიაგრამა  $P_{მკს}=155$  ბარი,  $P_{მინ}=109$  ბარი,  $T_1=350^{\circ}\text{C}$ ,  $T_2=50^{\circ}\text{C}$



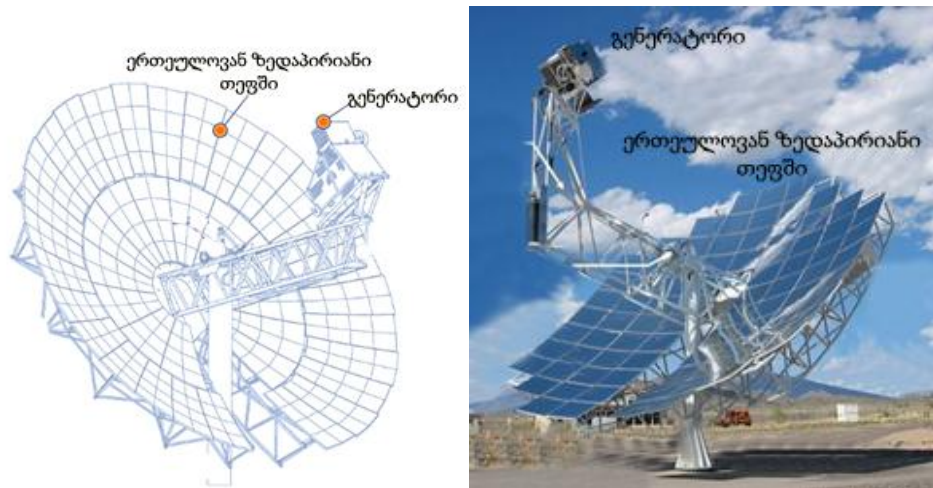
ნახ.12 ძრავის ინდიკატორული დიაგრამა  $P_{\text{მაქს}}=138$  ბარი,  $P_{\text{მინ}}=132$  ბარი,  $T_1=350^\circ\text{C}$ ,  $T_2=50^\circ\text{C}$

მეოთხე თავში „კონცენტრატორები და თბური წყაროების ვარიანტები“ განხილულია მსოფლიოში რა ტიპის მზის კონცენტრატორები და თბური წყაროებია გამოყენებული სტირლინგის თეფშიან სისტემაში.

სტირლინგის თეფშიან სისტემაში გამოყენებული კონცენტრატორები უმეტეს შემთხვევაში არის პარაბოლურ თეფშებიანი კონცენტრატორები წერტილოვანი ფოკუსირებით.

კონცენტრატორებში იყენებენ ალუმინის ან ვერცხლის ამრეკლ ზედაპირს, ასევე იყენებენ შუმის ან პლასტმასისას, როგორც წინა ასევე უკანა ზედაპირისთვის. ადრე იყენებდნენ მოვერცხლილ უკანა ზედაპირიან თხელ სარკეებს. ზოგიერთი ახლანდელი დიზაინი იყენებს თხელ პოლიმერულ, ალუმინის ან ვერცხლის წინა და უკანა ზედაპირიან ფირფიტას.

ზოგიერთი კონცენტრატორი სტირლინგის თეფშიანი სისტემისთვის იყენებს მრავალ სფერული ფორმის სარკის ერთეულოვან ზედაპირს, რომელიც ერთ სტრუქტურად არის ასხმული (ნახ.13).



ნახ.13 სარკის ერთეულოვანი ზედაპირის მქონე პარაბოლური თეფში კონცენტრატორი.

მზის კონცენტრატორების დიზაინის ბოლო სიახლე არის გადაჭიმული გარსის (მემბრანის) გამოყენება. თხელი ამრეკლი გარსი არის გადაჭიმული სალტეზე მზის რადიაციის მოქმედების მხარეს, ხოლო მეორე გარსი ამჭიდროვებს მის უკანა სივრცეს. ამ გარსებს შორის შექმნილი ვაკუუმი ამრეკლ გარსს ანიჭებს დაახლოებით სფერულ ფორმას (ნახ.14).

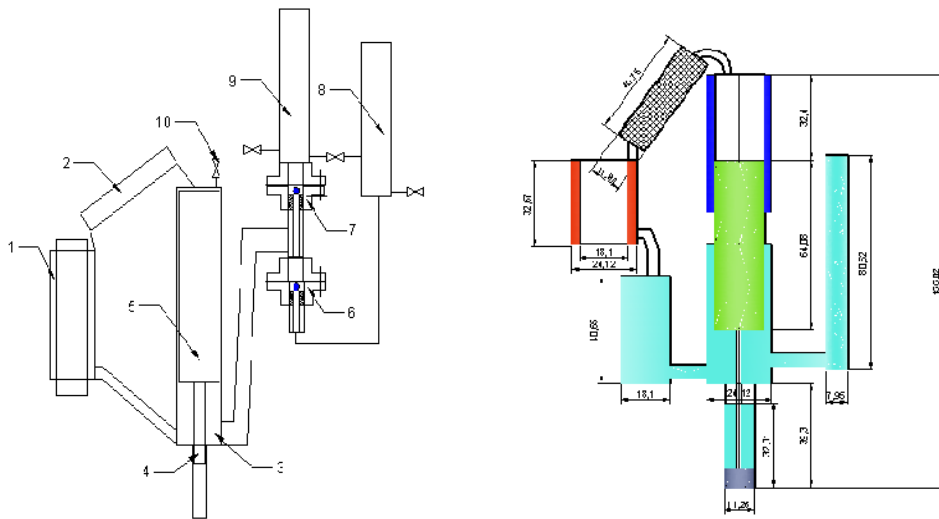


ნახ.14 გადაჭიმულ გარსიანი პარაბოლოიდური თეფშიანი კონცენტრატორი.

სტირლინგის მანქანას შეუძლია იმუშაოს მრავალ სათბობზე, თუ პრაქტიკულად რეალიზდება თბური ენერჯის აკუმულირების პრინციპი. თბურ აკუმულატორებთან ერთად შეიძლება გამოყენებულ იქნეს ენერჯის არატრადიციული მრავალი წყარო: ა) ლითონების წვის დროს გამოყოფილი ენერჯია; ბ) რადიოაქტიური იზოტოპების ენერჯია; გ) მზის ენერჯია და სხვა.

მეხუთე თავში „თხევადდგუშიანი სტირლინგის ძრავის სტენდი“ აღწერილია სტირლინგის ძრავის ექსპერიმენტალური სტენდი და გაანალიზებულია მიღებული შედეგები. ასევე, განხილულია მზის ენერჯის გარდაქმნისა და აკუმულაციის სქემა.

შემუშავებული თეორიული მოდელის ბაზაზე კონსტრუირებული და დამზადებული იქნა თხევადდგუშიანი სტირლინგის ძრავის ექსპერიმენტალური სტენდი (ნახ.15), რომელიც შედგება შემდეგი ძირითადი და დამხმარე მოწყობილობებისგან: 1–მაღალტემპერატურული სპეციალური შესრულების თბომცვლელი; 2–რეგენერატორი; 3–დისფლესერი მაცივართან კომბინაციაში; 4–დისფლესერის სამოდრაო ღერო მაგნიტური ამძრავით; 5–მყარი ტანის მასალისგან დამზადებული დისფლესერი; 6–შემწოვი სარქველი; 7–დამჭირხნი სარქველი; 8–მინიმალური წნევის სააკუმულაციო მოცულობა; 9–მაქსიმალური წნევის სააკუმულაციო მოცულობა; 10–მუშა აირით ძრავის დასატენი ვენტილი.



ნახ.15 თხევადდგუშიანი სტირლინგის ძრავის პრინციპიალური სქემა.

თხევადი დგუშის გამოყენება საშუალებას იძლევა გამაცხელებლის არეში მისი გადაადგილების, რაც ცხადია ტრადიციული მყარი დგუშით ეს შეუძლებელია. შესაბამისად, გამაცხელებელში მკვდარი მოცულობა ამ

კონსტრუქციული გადაწყვეტით აღარ არსებობს. თხევად დგუმს გააჩნია კიდევ ერთი უპირატესობა ის, რომ მისმა გამოყენებამ შიდა თბოცვლის მეტი ინტენსიფიკაცია გამოიწვია დგუმისა და მუშა სხეულის უშუალო კონტაქტის ხარჯზე.

ძრავის წარმოდგენილ სქემაში მაცივარში სითბოგადაცემის ინტენსიფიკაცია თხევადი დგუმისა და მყარტანიანი დისფლესერის შეთანწყობით მიიღწევა. დისფლესერის მოძრაობა ხორციელდება მაგნიტური ქუროს გამოყენებით, რაც თავის მხრივ თხევადი დგუმის გადაადგილებას უზრუნველყოფს ცხელ და ცივ არეებს შორის.

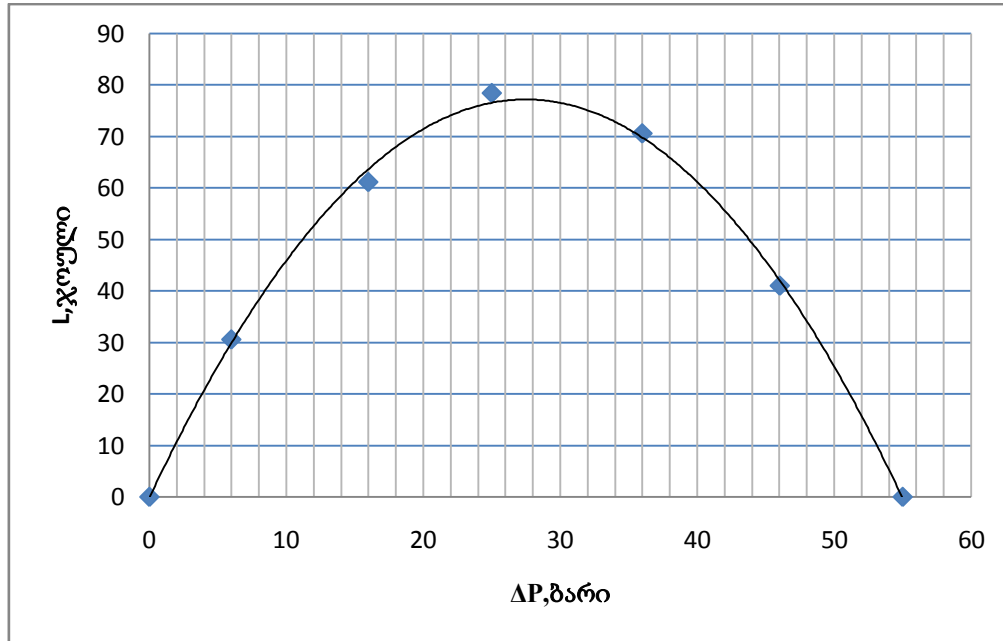
დისფლესერი გარკვეული ღრეჩოთია შესრულებული მაცივრის ცილინდრში, მკვდარი მოცულობის გამოსარიცხად გამოყენებული იქნა მაღალი სიმკვრივის მქონე თხევად დგუმთან ერთად, ასევე თხევადი დაბალი სიმკვრივის ნივთიერება ღრეჩოს შემავსებლად.

მაღალი სიმკვრივის თხევად დგუმად გამოყენებული იყო ვერცხლისწყალი, რომელსაც გააჩნია მაღალი დუღილის ტემპერატურა. თბომცვლელში თხევადი დგუმის აორთქლების გამოსარიცხად აირის მაქსიმალურ ტემპერატურა სწორედ ამ მიზეზით იზღუდება და იგი შეადგენს 350 °C –ს.

ექსპერიმენტალური სტენდის თბომცვლელში გამახურებელ ელემენტად გამოყენებული იყო ნიქრომის სპირალი. თბომცვლელში ტემპერატურის სტაბილიზაცია ხდებოდა თერმოწყვილის დახმარებით, ხოლო გადაცემული ენერგია იზომებოდა ელექტრომრიცხველით.

ძრავის მუშა რეჟიმზე გასვლამდე ხდებოდა მისი გაცხელება ნულოვანი მწარმოებლობით, რის შემდეგაც იწყებოდა დაბალი წნევის მოცულობიდან სითხის გადატუმბვა მაღალი წნევის მოცულობაში. სითხის გადატუმბული რაოდენობა იზომებოდა სპეციალური დონის მზომი ელექტროდების გამოყენებით.





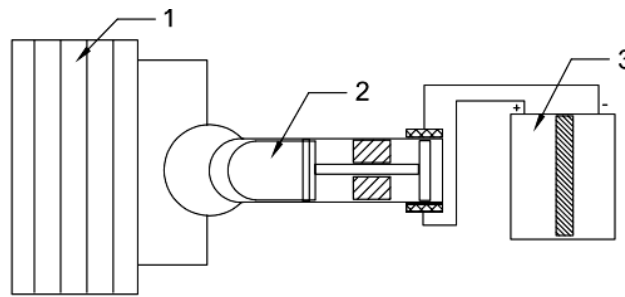
ნახ. 16 ძრავის მუშაობის დამოკიდებულება სააკუმულაციო მოცულობებში წნევათა სხვაობაზე.

ნახ.16-ზე წარმოდგენილია 100 მილილიტრიანი მოცულობის მქონე თხევადდგუშიანი სტირლინგის ძრავის მუშაობის დამოკიდებულება სააკუმულაციო მოცულობებში წნევათა სხვაობაზე. როგორც ნახ.16-დან ჩანს ძრავის გამომუშავებულ მუშაობაზე და სიმძლავრეზე მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს სააკუმულაციო მოცულობებში წნევები  $P_{\text{მინ}}$  და  $P_{\text{მაქს}}$ . მათი მნიშვნელობები ისე უნდა შეირჩეს, რომ ციკლში მიღებული იქნას მაქსიმალური მუშაობა და სიმძლავრე (ცხრილი1). ამ კონკრეტულ შემთხვევაში  $P_{\text{მინ}}$  და  $P_{\text{მაქს}}$  შესაბამება შეწოვის 120 და დაჭირხვნის 145 ბარს.

ცხრილი 1

160	155	150	145	140	138	135	$P_{\text{მაქს}}$	ბარი
105	109	114	120	127	132	135	$P_{\text{მინ}}$	ბარი
55	46	36	25	13	6	0	$\Delta P$	ბარი
100	104,5	110	116	124	126	0	$V_{\text{მაქს}}$	მლ
100	95,5	90	84	76	74	0	$V_{\text{მინ}}$	მლ
0	9	20	32	48	52	0	$\Delta V$	მლ
0	40,572	70,56	78,4	61,152	30,576	0	L	ჯოული

ჩვენს სქემაში (ნახ.17) მზის კოლექტორი განცალკავებულია ძრავისგან და თბური ენერჯის გადაცემა ხდება შუალედური კონტურის დახმარებით. ამ შემთხვევაში კოლექტორი უძრავია, რაც სისტემას საკმაოდ ამარტივებს და აიაფებს. გარდა ამისა, ასეთი სქემა აუმჯობესებს ძრავის მუშაობის პირობებს, რადგან არ ხდება კონცენტრირებული მზის სხივებით მაღალტემპერატურული თბომცვლელის ცალკეული ადგილების გადახურება. შესაბამისად, გამაცხელებელში გამოყენებულ მასალებს ნაკლები მოთხოვნები წაეყენება თბომტარის დაბალი ტემპერატურების გამო ( $200 \pm 300 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ).



ნახ.17 მზის ენერჯის გარდაქმნისა და აკუმულაციის პრინციპული სქემა. 1 – მზის ვაკუუმმილებიანი კოლექტორი; 2 – სტირლინგის ძრავი; 3 – ელექტროლიზირი.

ძრავთან კომპლექსში კარგად იქნება შეთანწყობილი წყლის ელექტროლიზით წყალბადის მიღება და მისი შემდგომი გამოყენება სხვადასხვა დანიშნულებით. მიუხედავად დაბალი ეკონომიურობისა, ეს მეთოდი იმითაა მიმზიდველი, რომ ენერჯის აკუმულაცია არ არის დამოკიდებული გამომუშავებული ენერჯის პარამეტრებზე, აქვს დაგროვილი ენერჯის მაღალი კუთრი სიმკვრივე და გააჩნია ხანგრძლივად შენახვის შესაძლებლობა. მიღებული წყალბადი შემდგომ შეიძლება აკუმულირებული იქნას ბუნებრივი აირის მაგისტრალეებში არსებულ აირებთან შერევით ან გარდაიქმნას ელექტროენერჯიაში სითბური ელემენტების გამოყენებით საავტომობილო ტრანსპორტში.

## ზოგადი დასკვნები

1. თხევად დეგუშიანი ვარიანტები დასამზადებლად მარტივია, იგი არ მოითხოვს დეგუმ-ცილინდრის ჯგუფში ზუსტ მორგებებს;

2. ძრავს არ სჭირდება რთული კონსტრუქციის ამძრავის გამოყენება;

3. ძრავის მუშა სხეულის გაცხელება სასურველია განხორციელდეს არაპირდაპირი გზით, რომლის დროსაც გამოიყენება შუალედური თბომტარები, რათა გამოირიცხოს მაღალტემპერატურული თბომცვლელის ლოკალურ ადგილებში ზედაპირის გადახურება;

4. სითხის თვისების მეშვეობით - მოერგოს არარეგულარული ფორმის საკანს, მუშა აირში თბოცვლის ზედაპირი შესაძლებელია მნიშვნელოვნად გავზარდოთ, მათ შორის გაწიბოვნებით, რაც თავის მხრივ გამოიწვევს თბოცვლის პროცესების ინტენსიფიკაციას. კუმშვა-გაფართოების კამერებში თბოცვლის პროცესების განხორციელებით შესაძლებელია მთლიანად აღმოიფხვრას თბომცვლელებში მკვდარი მოცულობები (იგი დაგვრჩება მხოლოდ რეგენერატორში), რის გამოც გაიზრდება ძრავის კუმშვის კოეფიციენტი, შესაბამისად მ.ქ.კ. და სიმძლავრე;

5. თხევადი დეგუმის ბუნება ასევე გვაძლევს საშუალებას სხვადასხვა გზით მოვხსნათ სიმძლავრე: პირდაპირ ჰიდრავლიკურად ან მბრუნავი ლილვით;

6. აირიდან სითხეზე წნევის პირდაპირი გადაცემის გამო მარტივად წყდება დაბალი მოლეკულური მასის მქონე აირების მაღალ წნევაზე ჰერმეტიზაციის პრობლემა;

7. სტირლინგის ძრავის ახალი სქემის დინამიკისთვის შემუშავებული მათემატიკური მოდელით დგინდება, რომ ძრავის მუშაობის ოპტიმალური რხევის პერიოდი შეადგენს  $1 \div 1,5$  წმ;

8. სტირლინგის ძრავის ახალი სქემისთვის მიღებული პროგრამული უზრუნველყოფა საშუალებას გვაძლევს თეორიულად შეფასდეს თერმო და გაზოდინამიკური პარამეტრები ძრავის მუშაობის ნებისმიერ დიაპაზონში;

9. რიცხვითი მეთოდების გამოყენებით ჩატარებულმა ანგარიშებმა გვიჩვენა შეწოვა-დაჭირხვნის წნევების მნიშვნელოვანი გავლენა მიღებულ მუშაობაზე ძრავის მუშაობის ნულოვანი მწარმოებლობის დროს შექმნილი მაქსიმალური და მინიმალური წნევების დიაპაზონის შიგნით;

10. ძრავის ექსპერიმენტალურ სტენდზე ჩატარებული კვლევების შედეგებით დადასტურებული იქნა თეორიული ანალიზით მიღებული მოდელის რეალობა;

11. ენერჯის დაგროვების ფორმა მნიშვნელოვნად განსაზღვრავს მთელი კომპლექსის (გენერაცია-აკუმულაცია) ეფექტურ მუშაობას. ძრავთან კომპლექსში წყლის ელექტროლიზით წყალბადის მიღების შეთანწყობა გამომუშავებული ენერჯის პარამეტრებზე მაქსიმალურად ამცირებს მოთხოვნებს, როგორებიცაა სიხშირის არასტაბილურობა და გამოსასვლელზე ძაბვა.

## Abstract

Energy crisis and environmental pollution caused by reduction of natural resources is the most urgent problem among the global problems that the world is facing now and that needs prompt solution. Thus, the priority issue now is designing such new technologies which will effectively use renewable sources and at the same time will not pollute the environment.

Development of energy conversion systems and their introduction on the basis of Sterling thermal engines may be considered as one of the most perspective directions for solving the ecological and energy problems. In this direction active is carried out in the following centers: Worcester Polytechnic Institute, Worcester, MA, USA; Sandia National Laboratories, Albuquerque, NM, USA; Lewis Research Center, Cleveland, OH, USA; Mechanical Engineering California State Polytechnic University, Pomona, CA, USA, etc.

The objective of the study is conversion and accumulation of heat power during maximum solar intensity period in such a form which will have high specific density of the accumulated energy and long storage period.

In particular, the heat conductor circulating in solar collector loop will be heated up to the temperature of 200÷300°C on the account of the heat energy and then used as the energy source for Stirling engine, and the energy obtained by Stirling engine will be stored for a long period.

Stirling engine is the unique heat engine as it has high thermal-dynamic effectiveness and is the most ecologically clean engine among the other engines. Stirling engine is also specific due to its universality to use the source of the heat energy. This source can be any heat energy with respective temperature, for instance solar energy, accumulated heat energy, combustion product energy, etc.

Currently, numerous Stirling engine designs and the structures of particular units are developed. In order for the engine dimensions to be acceptable at given capacity and

outside and inside heat transfer of the actuating medium to be effective, it is necessary that the average pressure of the cycle to be significantly higher than atmospheric. Such high pressures create specific problems which are associated with:

- sealing of the actuating medium
- design stress of the high temperature heat exchanger (heater)

Special expensive and technically complicated solar concentrator with Stirling engine located in its focal point will not be used in the energy conversion system proposed by us. Such a combination is not desirable to avoid the complication of the entire structure. Besides, the concentrator itself needs to be equipped with an independent drive for moving purposes.

While creation of an engine, liquid-metal pistons will be used that significantly simplifies and makes cheaper creation of an engine. Liquid piston does not need precision manufacturing of cylinders that gives significant preference compared to common hard-piston Stirling engines. In any version, at engine functioning, it is necessary to set a piston in a cylinder with minimum spacing to reduce as much as possible passing of actuating medium from one area to another. These requests bring us to the serious problems in case of high temperature cylinder. The conducted experiments have shown one more big preference of liquid piston usage especially in high temperature heat exchanger. At movement, a piston completely fills existed in heat exchanger gaps and accordingly, there are no dead volumes in these areas. Dead volumes stay only in regenerators. Besides, at contacting liquid with gas (actuating medium), heat exchange intensification is carried out at the expense of contact heat exchange. Accordingly, compression and expansion processes are going maximum isothermally.

Obtaining hydrogen with water electrolysis and its further use for various purposes will be very well used in complex with the engine. Of course, the electrolysis process itself needs perfection and its efficiency should be improved too, that is the subject of a separate study. Regardless of the low efficiency, this method is attractive

because accumulation of energy does not depend on the parameters of generated energy, has high specific density of the accumulated energy (in form of hydrogen – H<sub>2</sub>, with heat capacity 10800 kJ/m<sup>3</sup>) and long-term storage capability. Further, the obtained hydrogen can be accumulated in natural gas lines being mixed with existed gases or can be converted into the electric power by using of thermal elements in vehicles.

The studies run in this direction should stimulate the wide use of huge energy which we have during active solar radiation period. The entire system should compose of simple and cheap elements having long life.

We believe that the results obtained as a result of implementing the project will significantly contribute to the wide development of the potential of the renewable energy sources.