

UDC 66.045.5

SCOPUS CODE 2210

<https://doi.org/10.36073/1512-0996-2024-1-211-217>

ჰაერის გამაცივებელი დგუშიანი მოწყობილობა

- თამაზ ისაკაძე** მექანიკის ინჟინერიისა და სამრეწველო ტექნოლოგიების აკადემიური დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0160, თბილისი, მ. კოსტავას 77
E-mail: tamazsakadze@gmail.com
- ზურაბ ლაზარაშვილი** მექანიკის ინჟინერიისა და სამრეწველო ტექნოლოგიების აკადემიური დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0160, თბილისი, მ. კოსტავას 77
E-mail: zurablazarashvili@yahoo.com
- გივი გუგულაშვილი** მექანიკის ინჟინერიისა და სამრეწველო ტექნოლოგიების აკადემიური დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0160, თბილისი, მ. კოსტავას 77
E-mail: givi.gugulashvili@gmail.com

რეცენზენტები:

ზ. ჯაფარიძე, სტუ-ის ემირიტუსი

E-mail: zurabjaparidze@yahoo.com

გ. კვირიკაშვილი, შპს „ქართუ უნივერსალის“ წარმოების მენეჯერი

E-mail: g.kvirikashvili@mail.ru

ანოტაცია. სურსათის წარმოებაში ფართოდ გამოიყენება მრავალი თბური პროცესი, რომელთა შედეგად მიღებული მზა პროდუქცია ან ნახევარ-ფაბრიკატი საჭიროებს გაცივებას. წარმოების მიერ მოთხოვნილი სწრაფი გაცივებისათვის გამოყენებული საშუალებებიდან სასურსათო პროდუქტებისათვის ყველაზე მეტად მისაღებია ცივი ჰაერის გამოყენება. გარემომცველი ჰაერის გაცივების არსე-

ბული მეთოდები და მოწყობილობები კონსტრუქციულად რთულია და მოითხოვენ მნიშვნელოვან მატერიალურ და ენერგეტიკულ დანახარჯებს. აღნიშნული დანახარჯების შემცირების მიზნით დამუშავებულია ჰაერის გამაცივებელი მარტივი მოწყობილობის პრინციპული სქემა, რომლის მუშაობა ემყარება ცილინდრში ჰაერის ადიაბატური გაფართოების შედეგად მისი გაცივების პროცესს.

საკვანძო სიტყვები: გაცივება; გაფართოება; დგუში; კონსტრუქცია; ცილინდრი.

გაყვანილობების მოწყობა, რათა პროდუქტი არ დასველდეს და გაფუჭდეს.

შესავალი

მრეწველობის მრავალ დარგში და, მათ შორის, სურსათის წარმოებაში, ფართოდ გამოიყენება თბური პროცესები, რომელთა დასრულების შემდეგ აუცილებელი ხდება მიღებული ნედლეულისა თუ საბოლოო პროდუქტების გაცივება. თუ გაცივება საჭიროა გარემოს ტემპერატურამდე, ამ შემთხვევაში შესაძლებელია ბუნებრივი გაცივების გამოყენება, როდესაც პროდუქტი ცივდება გარემო ჰაერის ზემოქმედებით, ხოლო პროცესის დაჩქარების მიზნით ხორციელდება ამ ჰაერის იძულებითი ცირკულაცია ვენტილატორების გამოყენებით. საქმე უფრო რთულადაა, როდესაც საჭიროა პროდუქტის გაცივება გარემოს ტემპერატურასთან შედარებით უფრო დაბალ ტემპერატურამდე. ასეთ შემთხვევაში აუცილებელი ხდება სპეციალური გამაცივებელი მოწყობილობების გამოყენება. გაცივებისათვის გამოყენებულ საშუალებებს შორის შეიძლება აღინიშნოს ჰაერით, სხვადასხვა სითხით, მაცივრით, კონდიციონერით და სხვა საშუალებებით გაცივება.

სასურსათო პროდუქტების გაცივებისათვის მრავალი ხერხი გამოიყენება, რომელთაგან ჰაერით გაცივება ყველაზე მეტად მოხერხებულია, რადგან ჰაერის უშუალო კონტაქტი სასურსათო პროდუქტების უმრავლესობასთან სავსებით მისაღებია მაშინ, როდესაც ნებისმიერ სითხესთან ასეთი კონტაქტი დაუშვებელია. სითხეებით გაცივების შემთხვევაში აუცილებელი ხდება სპეციალური მილ-

ჰაერის გაცივების დღეისათვის გამოყენებულ საშუალებებს შორის ერთ-ერთი ყველაზე ეფექტური საშუალებაა ჰაერის კონდიციონერება, რომელიც უზრუნველყოფს ჰაერისათვის საჭირო ტემპერატურისა და ტენიანობის ზუსტი მნიშვნელობების მინიჭებას. ჰაერის კონდიციონერების დღევანდელი სისტემები ხასიათდება მრავალი ფუნქციით, როგორცაა საჭიროების შესაბამისად ჰაერის გაცივება ან გათბობა, დატენიანება ან შეშრობა, ვენტილაცია და გაწმენდა (გაფილტვრა), ჟანგბადის კონცენტრაციის გაზრდა და სხვ. მაგრამ ეს შესაძლებლობები მიიღწევა კონდიციონერის კონსტრუქციის გართულების ხარჯზე, რადგან მათი რეალიზაციისათვის აუცილებელი ხდება კონდიციონერში სხვადასხვა სახის გამათბობლის, მორწყვის სისტემების, კომპრესორის საორთქლებლების, აზოტის მოსაცილებელი მოდულგენერატორებისა და სხვათა ჩაყენება. ეს კი ართულებს და ამვირებს როგორც თვით კონდიციონერის კონსტრუქციას, ისე მისი გამოყენებით გაცივებული ჰაერის მიღებას. შედარებით მარტივი კონსტრუქციისა და მცირე ღირებულების საოჯახო კონდიციონერები, რომლებშიც მორწყვისა და გათბობის სისტემები არ გამოიყენება, მოკლებულია ამა თუ იმ საჭირო ფუნქციის შესრულების უნარს. საოჯახო კონდიციონერების ერთ-ერთ ნაკლად შეიძლება ჩაითვალოს ასევე კონდიციონერულ სათავსში ჰაერის ტენშემცველობის შემცირება (ჰაერის გაშრობა), რაც არასასურველია როგორც ადამიანისათვის, ისე სასურსათო პროდუქტის უმრავლესობისათვის.

ყოველივე ზემოთ აღნიშნულის გათვალისწინებით დაისვა მარტივი ჰაერგამაცივებელი მოწყობილობის დამუშავების საკითხი, რომელიც არ მოახდენს გაცივების პროცესში ჰაერის ტენშენცველობის ცვლილებას და, ამავე დროს, იქნება კონსტრუქციულად მარტივი და დამზადებისა და გამოყენების თვალსაზრისით იაფი. ჰაერის გაცივებისათვის გამოყენებულია ცილინდრში მისი ადიაბატური გაფართოების ეფექტი.

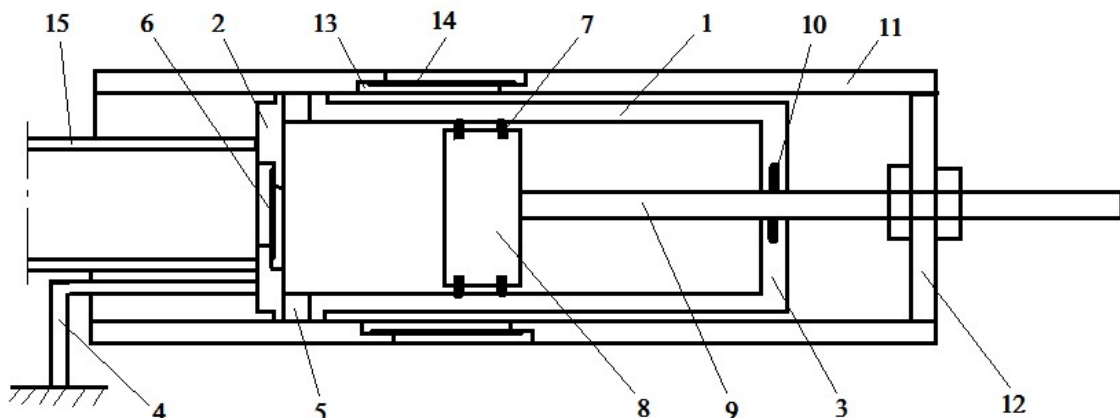
ძირითადი ნაწილი

გამაცივებელი მოწყობილობის ძირითადი ელემენტია ცილინდრი 1, რომლის ერთი ტორსული კედელი დახშულია ზედაპირით 2, მეორე მხარეზე კი განლაგებულია სახურავი 3. ცილინდრი უძრავადაა დამაგრებული საყრდენზე 4. ცილინდრის დახშული ტორსული კედლის მიმდებარედ გაკეთებულია რადიალური ნახვრეტები 5, ხოლო თვით ამ ზედაპირზე განლაგებულია დამჭირხნი სარქველები 6 (მაგალითად, პირდაპირი დინების ზოლისებური ფირფიტების ტიპის).

ცილინდრის შიგნით განლაგებულია გამამკვრივებელი რგოლების 7 მქონე დგუში 8, რომელიც ჭოკის 9 მეშვეობით ასრულებს წინსვლით-უკუქცევით მოძრაობას. ჭოკი ცილინდრის სახურავში 3 განლაგებულია გამამკვრივებლების საშუალებით.

ცილინდრის გარე ზედაპირზე სრიალის ხახუნით დასმულია ჭიქა 11, რომელიც ღეროების 12 დახმარებით ხისტადაა დაკავშირებული დგუშის ჭოკთან 9. ჭიქას გაკეთებული აქვს გრძივი გამჭოლი ღარები 13, რომლებშიც განლაგებულია შემწოვი სარქველები 14. ღარების რაოდენობა ემთხვევა ცილინდრის ნახვრეტების 5 რაოდენობას. ამასთან ერთად, ჭიქა იმგვარადაა განლაგებული ცილინდრის მიმართ, რომ მასში ამოჭრილი ღარები და ნახვრეტები ერთმანეთს ემთხვევა.

ცილინდრის ტორსულ ზედაპირზე 2 დამაგრებულია მილგაყვანილობა 15 ისე, რომ დამჭირხნი სარქველი 6 მოთავსებულია მის შიგნით. დგუშის ჭოკი მიერთებულია ამძრავთან, რომელიც უზრუნველყოფს მის წინსვლით-უკუქცევით წრფივ მოძრაობას ცილინდრის შიგნით.



ჰაერის გამაცივებელი მოწყობილობის პრინციპული სქემა

მოწყობილობა შემდეგნაირად მუშაობს.

საწყის მდგომარეობაში დგუში მაქსიმალურადაა შესული ცილინდრში და იმყოფება ტორსულ ზედაპირთან. როდესაც დგუში იწყებს გადაადგილებას მარცხნიდან მარჯვნივ, დგუშსა და ტორსულ კედელს შორის წარმოიქმნება გაიშვიათება. ამის შედეგად დამჭირხნი სარქველი იკეტება. დგუშთან ერთად მარცხნიდან მარჯვნივ გადაადგილებას იწყებს ჭიქა, რაც განაპირობებს ნახვრეტების გასწვრივ ჭიქაში ამოჭრილი ღარების მოხვედრას. ცილინდრის შიგნით გაჩენილი გაიშვიათების ხარჯზე გაიღება შემწოვი სარქველები და გარემომცველი ჰაერი შევა ცილინდრის მოცულობაში, მთლიანად შეავსებს მას ტორსულ კედელსა და დგუშს შორის. მაგრამ ასეთი შევსება გრძელდება მხოლოდ იმ დროის განმავლობაში, როდესაც ნახვრეტები და ღარები ერთმანეთს ემთხვევა. ჭიქის შემდგომი გადაადგილების გამო ღარები დასცილდება ნახვრეტებს და მათ ადგილს იკავებს ჭიქის მთლიანი ზედაპირი, რის შედეგადაც ცილინდრში ჰაერის შემდგომი მიწოდება შეწყდება, ჰაერი ცილინდრში ვეღარ მიეწოდება და დგუშის შემდგომი გადაადგილება განაპირობებს ცილინდრში დარჩენილი ჩაკეტილი ჰაერის გაფართოებას. გაფართოების შედეგად კი ეს ჰაერი ცივდება. როდესაც დგუში ცილინდრში მიაღწევს უკიდურეს მარჯვენა მდებარეობას, ცილინდრში გვაქვს გაფართოების შედეგად გაცივებული ჰაერი.

მარჯვენა კიდურა მდებარეობიდან დგუში და ჭიქა იწყებს საპირისპირო მიმართულებით (მარჯვნიდან მარცხნივ) მოძრაობას. ნახვრეტების გავლით ამ გაცივებული ჰაერის გარემოში გასვლა შეუძლებელია, რადგან თავდაპირველად ნახვრეტები გადაკეტილია ჭიქის მთლიანი ზედაპირით, შემდეგ

კი (როდესაც ნახვრეტები და ღარები ერთმანეთს დაემთხვევა) ამ ჰაერის გამოსვლას ეწინააღმდეგება ღარებში განლაგებული შემწოვი სარქველები. ამის გამო აღნიშნული გაცივებული ჰაერი დამჭირხნი სარქველის გავლით გადადის მილგაყვანილობაში, რომლითაც მიეწოდება მომხმარებელს.

ამრიგად, წარმოდგენილი მოწყობილობა უზრუნველყოფს ცილინდრში ჰაერის გარკვეული რაოდენობის შეწოვას, ამ ჰაერის გაცივებას გაფართოების ხარჯზე და შემდეგ გაცივებული ჰაერის მიწოდებას მომხმარებლისათვის. შეწოვილი ჰაერის რაოდენობის ცვლილება შესაძლებელია ღარების სიგრძისა და შემწოვი სარქველების რეგულირებით. ცივი ჰაერის გამოსადევნად გამოიყენება მისი დაჭირხვნა. ამ დროს ის გარკვეულწილად შეთბება. მაგრამ შეთბობის ხარისხის რეგულირება მარტივადაა შესაძლებელი დამჭირხნი სარქველების მეშვეობით.

როგორც ვნახეთ, მოწყობილობაში ჰაერი ცივდება გაფართოების შედეგად და შემდგომ ამ გაცივებულ ჰაერს დავჭირხნით მომხმარებლისათვის მიწოდების მიზნით. გაცივებისა და შეთბობის საერთო ჯამი კი უნდა იძლეოდეს ჰაერის გაცივების საბოლოო შედეგს. ამიტომ განვსაზღვროთ ჰაერის გაცივების ხარისხი წარმოდგენილ მოწყობილობაში.

აირის ორი სხვადასხვა მდგომარეობისათვის მენდელეევი-კლაპეირონის ფორმულას ექნება სახე:

$$P_1 \cdot V_1 = m \cdot R \cdot T_1$$

$$P_2 \cdot V_2 = m \cdot R \cdot T_2$$

მდგომარეობის ცვლილება არის

$$P_1 \cdot V_1 - P_2 \cdot V_2 = m \cdot R \cdot (T_1 - T_2)$$

ცნობილია, რომ იდეალური და მასთან მიახლოებული აირების შინაგანი ენერგია მხოლოდ ტემპერატურის ფუნქციაა

$$dU = m \cdot C_v \cdot (T_1 - T_2)$$

აქედან შეგვიძლია დავწეროთ:

$$T_1 - T_2 = dT = \frac{dU}{m \cdot c_v}.$$

მიღებული მნიშვნელობის ჩასმით აირის მდგომარეობის ცვლილების გამომსახველ ფორმულაში, გვექნება:

$$P_1 \cdot V_1 - P_2 \cdot V_2 = dU \cdot \frac{R}{c_v}.$$

მიღებული დამოკიდებულებიდან შეგვიძლია განვსაზღვროთ აირის გაფართოებაზე დახარჯული მუშაობა

$$dU = \frac{c_v}{R} \cdot (P_1 V_1 - P_2 V_2).$$

მარჯვენა გამოსახულების პირველი თანამართავლი შეიძლება წარმოვადგინოთ ადიაბატას კოეფიციენტის მეშვეობით

$$\frac{c_v}{R} = \frac{1}{K - 1}$$

ამიტომ მიღებული გამოსახულება შეიძლება დაიწეროს შემდეგი სახით:

$$dU = \frac{1}{K - 1} \cdot (P_1 \cdot V_1 - P_2 \cdot V_2)$$

ესაა მუშაობა, რომელიც იხარჯება აირის საწყისი ($P_1 \cdot V_1$) მდგომარეობიდან საბოლოო ($P_2 \cdot V_2$) მდგომარეობაში გადასაყვანად.

რადგან $P_1 \cdot V_1 - P_2 \cdot V_2 = m \cdot R \cdot (T_1 - T_2)$, ამიტომ აირის მდგომარეობის ცვლილებაზე დახარჯული მუშაობა შეიძლება წარმოვადგინოთ შემდეგი სახით:

$$dU = \frac{1}{K - 1} \cdot m \cdot R \cdot (T_1 - T_2) = \frac{m \cdot R}{K - 1} \cdot (T_1 - T_2)$$

მიღებული ფორმულის თანახმად შეიძლება ითქვას, რომ:

თუ $T_1 > T_2$, მაშინ აირი ცივდება და შესრულებული მუშაობა $dU > 0$;

თუ $T_1 < T_2$, მაშინ აირი თბება და შესრულებული მუშაობა $dU < 0$;

თუ $T_1 = T_2$, მაშინ აირის ტემპერატურა არ იცვლება და შესრულებული მუშაობა $dU = 0$.

შესაბამისად ვღებულობთ, რომ როდესაც ცილინდრში აირი ფართოვდება, მაშინ აირი ცივდება და დგუშის გადაადგილებაზე დახარჯული მუშაობა დადებითია:

$$dU_{გაფ} = \frac{m \cdot R}{K - 1} \cdot (T_1 - T_2).$$

როდესაც დგუში ცილინდრში მოძრაობს აღწერილის საპირისპირო მიმართულებით, მაშინ ცილინდრში არსებული აირი იკუმშება და შეკუმშვაზე დახარჯული მუშაობა უარყოფითია:

$$dU_{შკ} = \frac{m \cdot R}{K - 1} \cdot (T_2 - T_3).$$

ჩვენს შემთხვევაში ძირითადი მიზანია აირის გაფართოებით მისი გაცივება, რისთვისაც დგუში ცილინდრში იმგვარად გადაადგილდება, რომ მასში არსებული აირი საწყისი ($P_1 \cdot V_1$) მდგომარეობიდან გადაყვანილ იქნეს საბოლოო ($P_2 \cdot V_2$) მდგომარეობაში. გაცივებული აირის ცილინდრიდან გამოყვანისათვის კი ხდება დგუშის მოძრაობა საპირისპირო მიმართულებით. ამ დროს აირი იკუმშება და შესაბამისად, შეთბება. ჩვენს შემთხვევაში სუსტი ზამბარების მქონე სარქველი უზრუნველყოფს აირის ძალზე მცირე ძალით შეკუმშვას და, შესაბამისად, მის მცირე სიდიდით შეთბობას. ამასთანავე, ცილინდრიდან ხდება გაცივებული აირის მაქსიმალური რაოდენობის გამოდევნა, თუმცა სრული გამოდევნა შეუძლებელია (სარქველების კონსტრუქციული შესრულებისა და ცილინდრის ტორსულ კედელზე დგუშის შეჯახების დაუშვებლობის გამო). ამიტომ აღნიშნული შეკუმშვის და ცილინდრიდან აირის მეტი წილის გამოდევნის შემდეგ აირის საბოლოო მდგომარეობას ექნება ($P_3 \cdot V_3$) სახე.

როგორც ვნახეთ, დგუშის ერთ სვლაზე გვაქვს დადებითი მუშაობა, ხოლო მეორეზე – უარყოფითი. სრული მუშაობა ტოლი იქნება აღნიშნულ მუშაობათა ალგებრული ჯამისა:

$$dU_{ბრ} = dU_{გაფ} - dU_{შგვ} = \frac{m \cdot R}{K - 1} \cdot (T_1 - T_2) \frac{m \cdot R}{K - 1} \times (T_2 - T_3) = \frac{m \cdot R}{K - 1} \cdot (T_1 - T_3).$$

მიღებული ფორმულიდან შეგვიძლია განვსაზღვროთ დგუშის ერთი სრული სვლის შემდეგ ცილინდრიდან გამოდევნილი აირის საბოლოო ტემპერატურა:

$$T_3 = T_1 - \frac{dU_{ბრ}(K-1)}{m \cdot R} = T_1 - \frac{(dU_{გაფ} - dU_{შგვ})(K-1)}{m \cdot R}.$$

როგორც მიღებული ფორმულიდან ჩანს, გამაცივებელი მოწყობილობიდან გამოსული აირის ტემპერატურა დამოკიდებულია ცილინდრში შეყვანილი აირის (ჰაერის) საწყის ტემპერატურაზე, აირის მუდმივასა და მის მასაზე, ადიაბატას მაჩვენებელზე და აირის გაფართოებასა და მისი ცილინდრიდან გამოდევნისათვის შესრულებულ მუშაობაზე.

მოწყობილობაში გაცივებული აირის ტემპერატურა მით უფრო დაბალია (ანუ მით უფრო მეტია მოწყობილობის ეფექტურობა), რაც უფრო დაბალია ცილინდრში შეყვანილი გარემომცველი აირის ტემპერატურა და რაც უფრო ნაკლებია გაფართოებისათვის გამოყენებული აირის მასა. ამასთან ერთად, ფორმულიდან ჩანს, რომ რაც მეტია გაფართოებაზე დახარჯული მუშაობა $dU_{გაფ} > dU_{შგვ}$, მით მეტად ცივდება აირი და პირიქით. თუ ეს ორივე მუშაობა ტოლია $dU_{გაფ} = dU_{შგვ}$, მაშინ აირის ტემპერატურა არ იცვლება და $T_3 = T_1$.

დასკვნა

წარმოდგენილი გამაცივებელი მოწყობილობის დადებით მხარეებად შეიძლება ჩაითვალოს კონსტრუქციის სიმარტივე, მუშაობის საიმედოობა, მცირე ენერგეტიკული, დანახარჯი, მცირე მასალატევადობა და გაბარიტები. აგრეთვე აღსანიშნავია, რომ მოწყობილობა არ ცვლის ჰაერის ტენშემცველობას და, შესაბამისად, ადგილი არ აქვს ჰაერის გაშრობის ეფექტს.

ლიტერატურა

1. Megrelidze, T., Ghvachliani, V., Sadaghashvili, E., Gugulashvili, G. (2010). *Use of new energy-saving technologies for cooling*. Proceedings of the International Scientific Conference – Energy: Regional Problems and Development Prospects, Georgia, Kutaisi.
2. Megrelidze, T., Ghvachliani, V., Kordzakhia, T., Gugulashvili, L. Ghvachliani, T., Megrelidze, G., Gugulashvili, G. (2011). *Air conditioning system in the car*. (Patent certificate #GE P 5328 B. 10.11.2011 Class B 60 H 1/00.);
3. Megrelidze, T., Gugulashvili, G., Sadaghashvili, E., Beruashvili, G. (2012). New air conditioning system. *Proceedings of the Georgian Technical University*, 2(484).;
4. Goletiani, G., Papava, L., Gugulashvili, G., Pirveli, G., Beruashvili, G. (2016). *Cooling device for loose products coming out of the dryer*. Proceedings of the international scientific conference – Problems of improving the quality of food products, Georgia, Tbilisi.;
5. Megrelidze, T., Isakadze, T., Gugulashvili, G. (2017). Universal split air conditioner working in an extended range of ambient air temperature. *Proceedings of the Georgian Technical University*, 1(503).

UDC 66.045.5

SCOPUS CODE 2210

<https://doi.org/10.36073/1512-0996-2024-1-211-217>

Piston Air Cooling Device

- Tamaz Isakadze** Academic Department of Mechanical Engineering and Industrial Technologies, Georgian Technical University, Georgia, 0160, Tbilisi, 77, M. Kostava str.
E-mail: tamazisakadze@gmail.com
- Zurab Lazarashvili** Academic Department of Mechanical Engineering and Industrial Technologies, Georgian Technical University, Georgia, 0160, Tbilisi, 77, M. Kostava str.
E-mail: zurablazarashvili@yahoo.com
- Givi Gugulashvili** Academic Department of Mechanical Engineering and Industrial Technologies, Georgian Technical University, Georgia, 0160, Tbilisi, 77, M. Kostava str.
E-mail: givi.gugulashvili@gmail.com

Reviewers:

- Z. Japaridze**, Emeritus of GTU
E-mail: zurabjaparidze@yahoo.com
- G. Kvirikashvili**, Production Manager of Kartu Universal LLC
E-mail: g.kvirikashvili@mail.ru

Abstract. Many thermal processes are widely used in food production, as a result of which the finished products or semi-finished products need to be cooled. Of the means used for rapid cooling required by production, the use of chilled air is the most acceptable for food products. The currently used methods and devices for air cooling are characterized by a complex design, significant material and energy costs. In order to reduce the mentioned costs, the principle scheme of a simple air cooling device has been worked out, the operation of which is based on the process of cooling the air as a result of adiabatic gas expansion in the cylinder. The device has a simple design and low costs for manufacturing and operation.

Keywords: cooling; cylinder; design; expansion; piston.

განხილვის თარიღი 12.10.2023

შემოსვლის თარიღი 13.12.2023

ხელმოწერილია დასაბეჭდად 22.03.2024