

სამრეწველო და წარმოების ინჟინერია

ქათმის ხორცის გაყინვის და გამოლღობის ტემპერატურების ცვლილების დინამიკის კვლევა და შედარებითი ანალიზი

დავით ცაგარეიშვილი

davit.tsagareishvili@atsu.edu.ge

აკაკი წერეთლის სახელმწიფო უნივერსიტეტი

დოდო თავდიდიშვილი

dodo.tavdidishvili@atsu.edu.ge

აკაკი წერეთლის სახელმწიფო უნივერსიტეტი

შალვა ცაგარეიშვილი

შპს „ქუთაისი 2021“

ლანა კვიციანი

აკაკი წერეთლის სახელმწიფო უნივერსიტეტი

ქუთაისი, საქართველო

სტატიაში მოყვანილია სხვადასხვა მეთოდებით ქათმის ხორცის გაყინვის და გამოლღობის პროცესები. გაანალიზებულია ამ მეთოდების გავლენა ხორცის და მისგან დამზადებული კერძების ფუნქციონალურ და ტექნოლოგიურ მაჩვენებლებზე, აღნიშნულია, რომ ამ მახასიათებლებზე გავლენას ახდენს არა მარტო გაყინვის პროცესის ჩატარების სიჩქარე (გასაყინი ობიექტის გაყინვის ტემპერატურის ცვლილების დინამიკა), არამედ გამოლღობის პროცესის ფორმაც და სიჩქარეც. კერძოდ, გაყინვის პროცესში დაზიანებული ქსოვილიდან, ნაკლები რაოდენობის სითხის (წვენის) დაკარგვის მიზნით, აუცილებელია გალღობის პროცესის სწრაფად და ფაქიზად ჩატარება. ჩატარებულმა შედარებითმა ანალიზმა აჩვენა, რომ საუკეთესო შედეგი გაყინვა/გალღობის ოპერაციების ჩატარებისას მიიღწევა სწრაფი გაყინვის ($T=-30^{\circ}\text{C}$; $v=9,4\text{მ/წმ}$; $f=87\%$) და გამდინარე წყლის ნაკადით გამოლღობის ($T=+10^{\circ}\text{C}$) მეთოდების გამოყენებით.

საკვანძო სიტყვები: ქათმის ხორცი, ტემპერატურა, დრო, გაყინვა, გამოლღობა.

შესავალი. ხორცპროდუქტების ხანგრძლივი დროით ხარისხიანი შენახვის საუკეთესო საშუალებაა მათი გაყინვა. ამ დროს პროდუქტში არსებული წყალი უარყოფითი ტემპერატურის ზემოქმედებით განიცდის ფაზურ გარდაქმნას, რასაც მივყავართ ყინულის კრისტალების წარმოქმნამდე. თუ გაყინვის პროცესი მიმდინარეობს ნელი ტემპით, მაშინ წარმოქმნილი კრისტალები ასწრებენ ზომებში ზრდას, რაც იწვევს

პროდუქტის ქსოვილური სტრუქტურის რღვევას. გამოლლობის შემდეგ კი, ამ დაზიანებული ქსოვილიდან ხდება წყლის (ტენის) გამოყოფა, რასაც მივყავართ მასის დანაკარგებამდე და ფუნქციონალურ - ტექნოლოგიური მაჩვენებლების გაუარესებამდე. იმისათვის რომ შევამციროთ გაყინვის პროცესში დაზიანებული ქსოვილების რაოდენობა რეკომენდირებულია სწრაფი და ზესწრაფი გაყინვის პროცესების და შესაბამისი აპარატების გამოყენება (Tavdidishvili 2019: 665).

ქსოვილური სტრუქტურის დაზიანების სიდიდე (ზღვარი) დამოკიდებულია ყინულის კრისტალების რაოდენობაზე და მის ზომებზე, აქედან პირველი გამოწვეულია პროდუქტის გადაცივების ხარისხით, ხოლო მეორე პირდაპირპროპორციულია წყლის ფაზური გარდაქმნის დროის (კრისტალწარმოქმნის პერიოდი). შესაბამისად სწრაფი გაყინვის პროცესის მისაღწევად საჭიროა პროდუქტის სწრაფი გადამეტცივება, რათა ყინულის კრისტალებმა ვერ მოასწრონ ზომებში გაზრდა.

სწრაფი გაყინვის მეთოდის ერთ-ერთ ინოვაციურ სახეს წარმოადგენს შოკური გაყინვის პროცესი, სადაც პროდუქტის გაყინვა ხორციელდება სამაცივრე საკნებში, რომლებშიცაც გამაცივებელ გარემოს წარმოადგენს ძალიან დაბალი -30°C - -40°C ტემპერატურის ჰაერი ცირკულაციის მაღალი სიჩქარით 9 – 10 მ/წმ - ში.

ზოგადად გაყინვის ხარისხის შეფასებისას არ უნდა დავივიწყოთ გალლობის პროცესის მნიშვნელობა და თავისებურებანი, რადგან ამ პროცესების ურთიერთკავშირი გავლენას ახდენს მზა პროდუქციის ფუნქციონალურ და ტექნოლოგიურ მაჩვენებლებზე. გაყინვის პროცესებისგან განსხვავებით კვლევები გალლობის პროცესებზე ცოტაა ამიტომ ეს თემა ყოველთვის იძენს აქტუალურ მნიშვნელობას.

სამუშაოს მიზანი და ამოცანები. სამუშაოს მიზანს წარმოადგენს შევისწავლოთ, ქათმის ხორცის მაგალითზე, გაყინვის და გამოლლობის პროცესების მსვლელობის პერიოდში, პროდუქტის ტემპერატურის ცვლილების დინამიკა ამ პროცესების ჩატარების სხვადასხვა მეთოდების გამოყენებით.

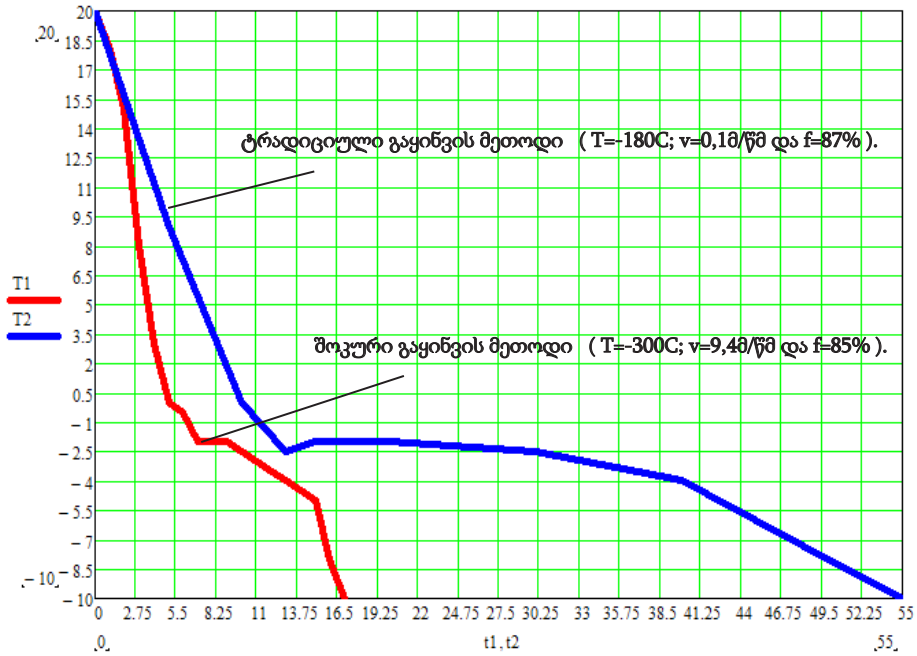
დასახული მიზნის განსახორციელებლად საჭიროა გადავჭრათ შემდეგი ამოცანები:

- შევირჩიოთ კვლევის ობიექტი და მეთოდები;
 - შევირჩიოთ გაყინვის და გამოლლობის პროცესების სახეები;
- შესაბამისი ხელსაწყო-დანადგარები და დავგეგმოთ ექსპერიმენტი;
- შევისწავლოთ, ქათმის ხორცის ტემპერატურის ცვლილება

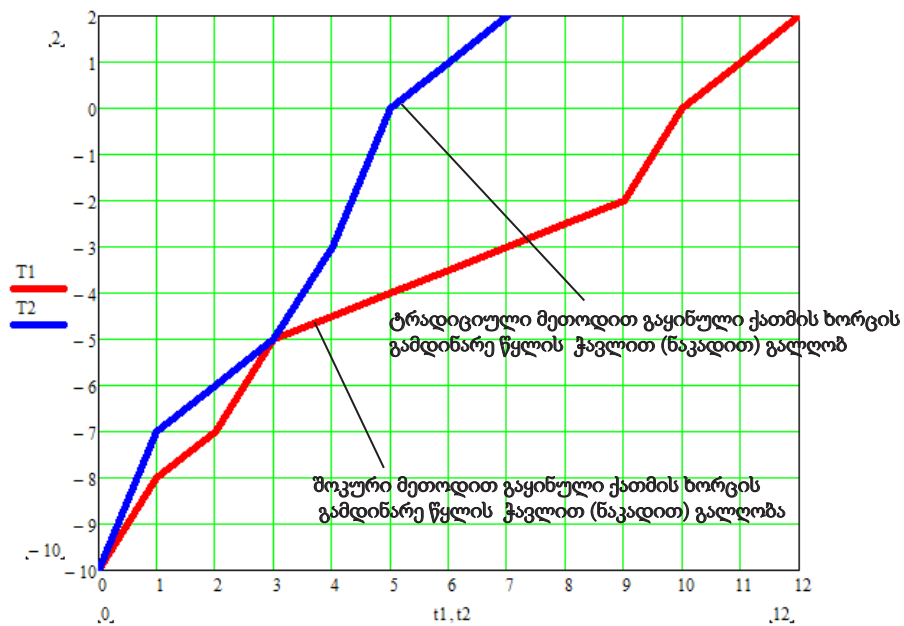
დროში გაყინვის და გამოლღობის პროცესების სხვადასხვა მეთოდებით ჩატარებისას.

კვლევის ობიექტი და მეთოდები. კვლევის ობიექტად შევირჩიეთ ქათმის ხორცი, რომელიც შევიძინეთ თერჯოლის მუნიციპალიტეტის სოფ. ეწერის მეფრინველეობის ფერმაში (საწარმოში). გაყინვის პროცესს ბუნებრივი კონვექციის მეთოდით ვსწავლობდით ტრადიციულ, ჩვეულებრივი ტიპის გასაყინ საკანში -18°C ტემპერატურის; ჰაერის ცირკულაციის სიჩქარის $0,1$ მ/წმ და 85% ფარდობითი ტენიანობის პირობებში (მარკა KLIMASAN; თურქეთი.). სწრაფი გაყინვის პროცესს -30°C ; $9,4$ მ/წმ ჰაერის ცირკულაციის (დაბერვის) სიჩქარით და 87% ფარდობითი ტენიანობის გამაცივებელ გარემოში ვიკვლევდით შოკური გაყინვის აპარატში (მარკა ATTLA GN 1/1 – $600 \times 400 \text{mm}$; იტალია.) გაყინვის პროცესს ვასრულებდით (ანუ ხორცს გაყინულად ვთვლიდით), როცა ხორცის ქსოვილის სიღრმეში მისი ტემპერატურა შეადგენდა -10°C . ამ მეთოდებით გაყინულ ნიმუშებს ვფუთავდით პოლიეთილენის პაკეტებში, ვყოფდით ორ ჯგუფად გალღობის სხვადასხვა მეთოდისათვის და შემდგომი კვლევებისათვის ვინახავდით მაცივარში -24°C ტემპერატურაზე ერთი დღე-ღამის განმავლობაში. ნიმუშების გალღობას ვაწარმოებდით ორი სხვადასხვა მეთოდით ბუნებრივი კონვექციით ($+14^{\circ}\text{C}$) და გამდინარე წყლის ჭავლით ($+10^{\circ}\text{C}$). გალღობილად ვთვლიდით ხორცის იმ ნიმუშებს, რომელთა რბილობის ცენტრში ტემპერატურა შეადგენდა $+5^{\circ}\text{C}$. ტემპერატურებს პროდუქტის სიღრმეში ვზომავდით კონტაქტური თერმომწვევილის (მარკა DIGITAL MULTIMETER DT9208A, გაზომვის დიაპაზონი მინუს 40°C – 1370°C , გაზომვის ცდომილება $1,5\%$) საშუალებით.

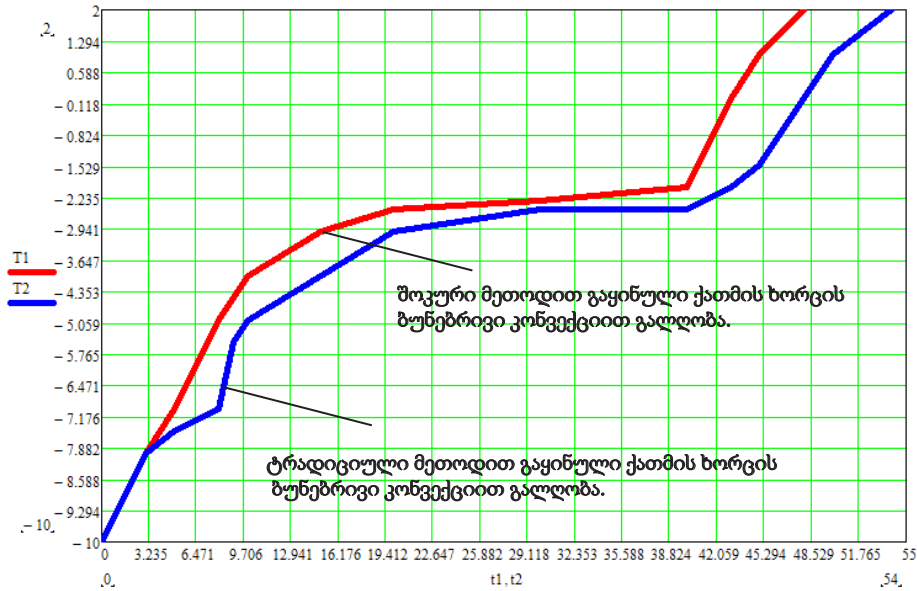
შეგეგები და ანალიზი. ჩატარებულმა კვლევებმა გვიჩვენა, რომ გაყინვისათვის მეტი დრო დაჭირდა ნიმუშებს, რომლებსაც ვყინავდით ბუნებრივი კონვექციის მეთოდით ($T=-18^{\circ}\text{C}$; $v=0,1$ მ/წმ და $f=85\%$) და მან შეადგინა 55 წთ-ი, ხოლო შოკური გაყინვის (სწრაფი გაყინვის) მეთოდის გამოყენებით ($T=-30^{\circ}\text{C}$; $v=9,4$ მ/წმ და $f=87\%$) ნიმუშების გაყინვის დრომ შეადგინა 17 წთ. ამ შემთხვევაში გაყინვის ნაკლები დრო განაპირობა გამაცივებელი გარემოს დაბალმა ტემპერატურამ და ჰაერის დაბერვის მაღალმა სიჩქარემ, რამაც უზრუნველყო გაყინვის სიჩქარის მეტი მნიშვნელობა წინა მეთოდთან შედარებით. მიღებული შედეგები თანხვედრაშია (Tavdidishvili 2019:665; Voskoboynikov 2011:8; Ribotta 2001:193) ავტორების კვლევებთან. 1-ელ ნახაზზე მოცემულია ნიმუშების გაყინვის ტემპერატურის ცვლილება დროში, გაყინვის სხვადასხვა მეთოდის პირობებში.



ნახ.1 ქათმის ხორცის გაყინვის ტემპურატურის ცვლილება დროში სხვადასხვა მეთოდით გაყინვის პირობებში.



ნახ.2 სხვადასხვა მეთოდით გაყინული ქათმის ხორცის გამდინარე წყლის ჭავლით გაღღობა.



ნახ.3. სხვადასხვა მეთოდით გაყინული ქათმის ხორცის ბუნებრივი კონვექციით გაღობა.

შემდგომ ეტაპზე ჩვენ შევისწავლეთ გაყინული ნიმუშების გამოღობის პროცესი კონვექციით და გამდინარე წყლის ნაკადის (ჭავლის) გამოყენებით. როგორც ექსპერიმენტალური მონაცემებიდან ჩანს უფრო მაღალი გამოღობის სიჩქარე მიიღწევა წყლის ჭავლით გამოღობის მეთოდის გამოყენებით. ამ დროს გამოღობის საერთო დრო შეადგენს 10 – 16 წთ-ს, მაშინ როცა კონვექციური მეთოდით გამოღობისას იგი შეადგენს 54 – 60 წთ-ს. თავის მხრივ გამოღობის გაცილებით ნაკლები დრო წყლის ჭავლით ხორცის გაღობისას, ჭირდება შოკური, სწრაფი მეთოდით გაყინულ ნიმუშებს.

მე-2 და მე-3 ნახაზზე წარმოდგენილია სხვადასხვა მეთოდით გაყინული ქათმის ხორცის ნიმუშების გაღობის პროცესი შესაბამისად გამდინარე წყლის ნაკადის (ჭავლის) და კონვექციური მეთოდების გამოყენებით. მიღებული მონაცემების მართებულობას ამყარებს (Onishchenko 2011:39) ავტორების კვლევების შედეგები.

მიღებული მონაცემების ერთობლიობა მეტყველებს იმაზე, რომ გაყინვის სხვადასხვა მეთოდი გამოღობის განსხვავებულ ხერხებთან მიმართებაში გვამლევს გაყინვა/გამოღობა დროის სხვადასხვა სურათს, რაც გამოწვეულია ყინულისა და წყლის განსხვავებული ფიზიკური

თვისებებით. როგორც ნელი ტემპით გაყინვა ასევე გამოლღობის ნელი ტემპიც იწვევს გაყინული პროდუქციის ხარისხის გაუარესებას, ამიტომ სწრაფი გამოლღობის პროცესის უზრუნველსაყოფად საჭიროა გამოვიყენოთ მაღალტემპერატურული გარემო სითბოგადაცემის მაღალი, მაქსიმალური ეფექტით. რადგან წყლის შემხვედრი ნაკადი ხასიათდება უფრო მაღალი სითბოგადაცემის კოეფიციენტით, ვიდრე არაციკულირებადი, უძრავი ჰაეროვანი გარემო, ამიტომ რათქმა უნდა წყლის შემხვედრი ნაკადით გამოლღობის პროცესი საჭიროებს ნაკლებ დროს ვიდრე ბუნებრივი კონვექციით.

დასკვნები. ექსპერიმენტის შედეგებიდან შეიძლება დავასკვნათ, რომ:

- გაყინული ქათმის ხორცის შემდგომი თბური დამუშავებისას (კერძის მომზადებისას), მზა პროდუქციის ფუნქციონალურ და ტექნოლოგიურ მაჩვენებლებზე გავლენას ახდენს არა მარტო გაყინვის, არამედ გამოლღობის პროცესიც, რაც გამოწვეულია ერთ შემთხვევაში, ხორცში არსებული თავისუფალი წყლის გაყინვისას წარმოქმნილი ყინულის კრისტალების ზომების ზრდის გამო, ქსოვილური სტრუქტურის რღვევით, ხოლო მეორეს მხრივ დაზიანებული ქსოვილიდან გამოლღობის დროს, მასში არსებული ტენის გამოყოფით. ყოველივე ამას მივყავართ მასის დანაკარგებამდე, ეს უკანასკნელი კი პირდაპირ კავშირშია ფუნქციონალურ და ტექნოლოგიურ მაჩვენებლებთან (Erlikhman 2010:36).

- გაყინვისას ქსოვილური სტრუქტურა შეიძლება დაზიანდეს, მაგრამ ამ დროს ტენის დაკარგვას არ აქვს ადგილი, რადგან იგი დაზიანებული ქსოვილის ბადეში მყარ ფაზაში იმყოფება, გამოლღობის დროს კი, ეს ყინულის კრისტალი დნება, გადადის თხევად ფაზაში და ამის შემდეგ ტოვებს პროდუქტს დაზიანებული ქსოვილის ზედაპირიდან. ამიტომ, რაც უფრო ნაკლებია გამოლღობის დრო, მით, უფრო ნაკლებია მასის დანაკარგები, ხოლო გამოლღობის მინიმალური დრო კი, გაყინვის პროცესის ჩატარების მეთოდზეა დამოკიდებული.

- გრაფიკული ანალიზის საფიქველზე, ალგებრულ ენაზე შეგვიძლია ვთქვათ, რომ ხასიათის მიხედვით, გაყინვის და გამოლღობის ტემპერატურები, როგორც დროის ფუნქციები ისე იქცევიან, როგორც შექცეული ფუნქციები.

- გაყინვა/გამოლღობის მინიმალური დრო მიიღწევა, შოკური მეთოდით გაყინული ხორცის, წყლის გამდინარე ნაკადით (10°C) გამოლღობისას და შეადგენს 10 წთ-ს.

ლიტერატურა

- Tavididishvili Dodo, Tsagareishvili Davit, Khutsidze Tsira, Pkhakadze Manana, Kvirikashvili Lana. 2019. „The impact of freezing methods on functional and technological properties of semi-finished rabbit meat products“. *Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences* <https://doi.org/10.5219/114213/1> 2019..pp. 665-675.
- Erlikhman V. N. 2010. “Evaluation of the Quality of Frozen Foods During Storage“. *Vestnik Mezdunarodnoy akademii kholoda* //Bulletin of the International Academy of Refrigeration. no. 3, 2010: 36-38. (in Russ.)
- Onishchenko V.P., Zheliba Y u.A., Zinchenko V. D. 2011. “The condition of the Water in the Meat of Beef when it is Freezing and Thawing]“ *Vestnik Mezdunarodnoy akademii kholoda* //Bulletin of the international Academy of Refrigeration. No. 2, 2011: 39-42. (in Russ.).
- Ribotta Pablo D. 2001. Effect of freezing and frozen storage of doughs on bread quality. *J. Agr. And Food Chem*, Vol. 49, No. 2, 2001: 193-198.
- Voskoboynikov V. A. 2011. “Development off Process Parameters for Freezing Foods Given Shape“. *Vestnik Mezdunarodnoy akademii kholoda* // Bulletin of the International Academy of Refrigeration. no. 1, 2011: 8-14. (in Russ.).

Industrial and Manufacturing Engineering

Study and comparative analysis of the dynamics of changes in freezing and thawing temperatures of chicken meat

Davit Tsagareishvili

davit.tsagareishvili@atsu.edu.ge
Akaki Tsereteli State University

Dodo Tavdidishvili

dodo.tavdidishvili@atsu.edu.ge
Akaki Tsereteli State University

Shalva Tsagareishvili

LLC „Kutaisi 2021“

Lana kvirikashvili

Akaki Tsereteli State University
Kutaisi, Georgia

The article describes the processes of freezing and thawing chicken meat using different methods. The influence of these methods on the functional and technological parameters of meat and dishes made from it is analyzed. It is noted that these characteristics are affected not only by the speed of the freezing process (dynamics of changes in the freezing temperature of the freezing object), but also by the form and speed of the thawing process. In particular, in order to lose less amount of liquid (juice) from the tissue damaged during the freezing process, it is necessary to carry out the thawing process quickly and carefully. The conducted comparative analysis revealed that the best results during freezing/thawing operations are achieved when using methods of quick freezing ($T=-30^{\circ}\text{C}$; $v=9.4\text{m/sec}$; $f=87\%$) and thawing with running water flow ($T=+10^{\circ}\text{C}$).

Keywords: *chicken meat, temperature, time, freezing, moisture.*

Introduction. Freezing is the best option for the quality and long-term storage of meat products. At this time, the water in the product undergoes a phase transformation under the influence of negative temperature, which leads to the formation of ice crystals. If the freezing process is slow, then the formed crystals grow in size, because of which the tissue structure of the product becomes disturbed. After thawing, water (moisture) is released from this damaged tissue, which leads to mass loss and deterioration in functional-technological parameters. In order to reduce the number of tissues damaged during the freezing process,

it is recommended to use the fast and ultra-fast freezing processes and related equipment (Tavdidishvili 2019: 665).

The amount (threshold) of damage to the tissue structure depends on the number of ice crystals and their sizes, the first of which is caused by the degree of supercooling of the product, and the second is directly proportional to the phase transformation time of water (the period of the formation of crystals). So, in order to achieve a fast freezing process, it is necessary to supercool the product rapidly, so that the ice crystals do not have time to increase in size.

One of the innovative types of fast freezing method is the shock freezing process, where the product is frozen in cold stores, in which the cooling environment is very low temperature air (-30°C ÷ -40°C) with a high circulation speed of 9-10 m/sec.

In general, when assessing the quality of freezing, we should not forget the importance and peculiarities of the thawing process, because the interrelationship of these processes affects the functional and technological parameters of the finished products. Unlike the freezing processes, there are few studies on the thawing processes, so this topic is always of high importance.

The goal of the work is to study, on the example of chicken meat, the dynamics of the temperature change of the product during the freezing and thawing processes, using different methods of conducting these processes.

To achieve this goal, the following objectives need to be met:

- choosing the object and methods of research;
- choosing the types of freezing and thawing processes; appropriate equipment and designing the experiment;
- studying the time temperature history of chicken meat when conducting the freezing and thawing processes with different methods.

Objectives and methods. We chose chicken meat as the object of research, which we bought in the poultry farm of the Etsera village in Terjola municipality. We studied the freezing process using the natural convection method in a traditional, conventional-type cold store at a temperature of minus 18 degrees Celsius; under conditions of air circulation speed of 0.1 m/sec and relative humidity of 85% (brand KLIMASAN; Turkey). The fast freezing process at minus 30 degrees Celsius, with an air circulation (blowing) speed of 9.4 m/sec and 87% relative humidity, was studied in a shock freezing machine (brand ATTILA GN 1/1 – 600x400mm; Italy). We completed the freezing process (that is, we considered meet frozen), when its temperature in the depth of the tissue was minus 10 degrees Celsius.

We packed the samples frozen by these methods in polyethylene bags, divided them into two groups for different methods of thawing, and kept them in a fridge at minus 24 degrees Celsius for further study, for one day and night. We thawed the samples by two different methods: natural convection (+14°C) and running water jet (+10°C). We regarded as thawed the meat samples whose temperature in the center of the tender cut of meat was +5°C. We measured the temperatures in the depth of the product using a contact thermocouple (brand DIGITAL MULTIMETER DT9208A, measurement range -40°C ÷ -1370°C, measurement error - 1.5%).

Results and discussion. The conducted studies showed that it took more time to freeze the samples that were frozen by the natural convection method ($T=-18^{\circ}\text{C}$; $v=0.1\text{m/sec}$ and $f=85\%$) and it amounted to 55 minutes, while using the method of shock freezing (fast freezing) ($T=-30^{\circ}\text{C}$; $v=9.4\text{ m/sec}$ and $f=87\%$) the freezing time of the samples was 17 minutes. In this case, the shorter freezing time was due to the lower temperature of the cooling medium and the higher speed of air blowing, which ensured a higher value of the freezing speed compared to the previous method. The obtained results are in agreement with the authors' studies (Tavdidishvili 2019:665; Voskoboynikov 2011:8; Ribotta 2001:193).

At the next stage, we studied the process of thawing frozen samples by convection and using a stream of running water (jet). As can be seen from the experimental data, a higher extraction rate can be achieved using the water jet extraction method. At this time, the total time of extraction is 10-16 minutes, while it is 54-60 minutes during the convection method. On the other hand, much less thawing time is required for thawing meat with a water jet, for samples frozen by shock, fast method. The validity of the obtained data is confirmed by the results of the authors' study (Onishchenko 2011:39).

Analysis of the studies reveals that different freezing methods in relation to different thawing methods give a different picture of freezing/thawing time, which is due to different physical properties of ice and water. Both slow freezing and slow thawing lead to the deterioration in the quality of frozen products, therefore, to ensure a fast thawing process, it is necessary to use a high-temperature environment with a high, maximum heat transfer effect. Since the counter flow of water is characterized by a higher heat transfer coefficient than a non-circulating, stationary air environment, and consequently, the process of thawing with a counter flow of water requires less time than the process of thawing by natural convection. Thus, during further heat treatment of frozen

chicken meat (cooking), the functional and technological parameters of the finished products are affected not only by the freezing process, but also by the thawing process, which is caused in one case by the increase in the size of the ice crystals formed during the freezing of the free water in the meat, due to the disruption of the tissue structure, and on the other hand, during the thawing from the damaged tissue, by releasing the moisture present therein. All this leads to mass losses, and the latter is directly related to functional and technological parameters (Erlikhman 2010:36).

Conclusion. Based on the results of the experiment, we can conclude that:

- During further heat processing of frozen chicken meat (during cooking), the functional and technological parameters of the finished products are affected not only by the freezing process, but also by the thawing process, which is, in one case, due to the increase in the size of the ice crystals formed during the freezing of the free water in the meat, and the destruction of the tissue structure, and, on the other hand, during thawing from the damaged tissue, by releasing the moisture therein. All this leads to mass losses, and the latter is directly related to functional and technological parameters (Erlikhman 2010:36).

- During freezing, the tissue structure may be damaged, but there is no loss of moisture, because it is in the solid phase in the mesh of the damaged tissue, and during thawing, this ice crystal melts, passes into a liquid phase, and then leaves the product from the surface of the damaged tissue. Therefore, the shorter the thawing time, the smaller the mass loss, and the minimum thawing time depends on the method of freezing.

- Based on the graphical analysis, algebraically speaking, we can say that, depending on the nature, the freezing and thawing temperatures, as functions of time, behave like the inversed functions.

- The minimum freezing/thawing time is 10 minutes when thawing meat frozen by the shock method with a flowing stream of water (10°C).