

UDC 66.045

SCOPUS CODE 2210

<https://doi.org/10.36073/1512-0996-2025-3-303-308>

წაგრძელებული ფორმის მქონე ნედლეულის გასაყინავი მოწყობილობა

ამირან ლაზარაშვილი	მექანიკის ინჟინერიისა და სამრეწველო ტექნოლოგიების დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0160, თბილისი, მ. კოსტავას 68 ^ა E-mail: aka.lazarashvili@gmail.com
გივი გოლეტიანი	მექანიკის ინჟინერიისა და სამრეწველო ტექნოლოგიების დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0160, თბილისი, მ. კოსტავას 68 ^ა E-mail: g.goletiani@yahoo.com
ზურაბ ლაზარაშვილი	მექანიკის ინჟინერიისა და სამრეწველო ტექნოლოგიების დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0160, თბილისი, მ. კოსტავას 68 ^ა E-mail: z.lazarashvili@gtu.ge
გივი გუგულაშვილი	მექანიკის ინჟინერიისა და სამრეწველო ტექნოლოგიების დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0160, თბილისი, მ. კოსტავას 68 ^ა E-mail: givi.gugulashvili@gmail.com

რეცენზენტები:

ვ. ქირია, სტუ-ის სატრანსპორტო სისტემებისა და მექანიკის ინჟინერიის ფაკულტეტის პროფესორი

E-mail: v.qiria@gtu.ge

ზ. მჭედლიშვილი, სტუ-ის სატრანსპორტო სისტემებისა და მექანიკის ინჟინერიის ფაკულტეტის პროფესორი

E-mail: z.mchedlishvili@gtu.ge

ანოტაცია. მცენარეული ნედლეულის ხანგრძლივი შენახვის პროცესში მისი ხარისხის მაქსიმალურად შენარჩუნების საუკეთესო საშუალებაა გაყინვა მოდულირებული კრისტალების ტექნოლოგიით, რომელიც სწრაფი გაყინვის პარალელურად პროდუქტზე ბგერითი ტალღების ზემოქმედებას გუ-

ლისხმობს. ასეთი მეთოდით გაყინვისათვის კი აუცილებელი ხდება ახალი ტექნოლოგიური მოწყობილობის დამუშავება, რომელიც მორგებული იქნება ნედლეულის კონკრეტულ სახეობაზე, რადგან ეს ნედლეული ძალზე მრავალფეროვანია როგორც ბიოქიმიური შედგენილობით, ისე ფიზიკური მდგომარეობით (წონით, ფორმებით, სიმწიფის ხარისხით

და სხვა). წარმოდგენილია, მოდულირებული კრისტალების ტექნოლოგიით, გასაყინავი მოწყობილობის პრინციპული სქემა, რომელიც შეიძლება გამოყენებული იყოს წაგრძელებული ფორმის მქონე მცენარეული ნედლეულის გაყინვისათვის.

საკვანძო სიტყვები: ბგერითი ტალღები; გაყინვა; მოდულირებული კრისტალების ტექნოლოგია; მცენარეული ნედლეული; ხარისხის შენარჩუნება.

შესავალი

სასურსათო პროდუქტების, მათ შორის მცენარეული ნედლეულის შენახვის საუკეთესო საშუალება მათი შრობა ან გაყინვაა. შრობის პროცესი დაკავშირებულია ნედლეულის მაღალ ტემპერატურაზე გაცხელებასთან, რაც განაპირობებს მასში არსებული სასარგებლო ელემენტების, განსაკუთრებით ფერმენტებისა და ვიტამინების არასასურველ ცვლილებებს. ეს კი, საბოლოო ჯამში, მნიშვნელოვნად აუარესებს პროდუქციის ხარისხს [1, 2].

შრობისაგან განსხვავებით, გაყინვის შემთხვევაში ნედლეულში მიმდინარე ცვლილებები გაცილებით ნაკლებია, რის გამო დღეისათვის ნედლეულის ხანგრძლივი შენახვის საუკეთესო საშუალებად ეს მეთოდი ითვლება [3, 4]. ნედლეულის გაყინვა უკვე სიახლეს აღარ წარმოადგენს, თუმცა გაყინვის პროცესის შესწავლა და სათანადო მოწყობილობის დამუშავება დღემდე გრძელდება [5, 6]. ამ თვალსაზრისით საინტერესოა გაყინვა მოდულირებული კრისტალების ტექნოლოგიით [7], რომლის არსი მდგომარეობს ძალზე სწრაფი გაყინვის პირობებში

პროდუქტზე აკუსტიკური ტალღების ზემოქმედებაში. მრავალი კვლევის შედეგად დადგენილია, რომ ჩვეულებრივი სწრაფი გაყინვის შემთხვევაში გასაყინავი პროდუქტის უჯრედებსა და მათ შორის სივრცეებში წარმოიქმნება ისეთი ზომის ყინულის კრისტალები, რომლებიც გაღობის პროცესში რეკრისტალიზაციის შედეგად იზრდება და მექანიკურად აზიანებს პროდუქტის უჯრედების გარსს. ამის გამო, გაღობის შემდეგ ადგილი აქვს პროდუქტის მასის მნიშვნელოვან დანაკარგებს (წვენის სახით), ასევე ხარისხის განმსაზღვრელი ფერის, გემოს, არომატის და სხვათა ცვლილებებს. აკუსტიკური ტალღების გამოყენების შემთხვევაში კი გაყინვის შედეგად წარმოქმნილი კრისტალების ზომები იმდენად მცირეა უჯრედების ზომებზე, რომ რეკრისტალიზაციით განპირობებული გაზრდის შემთხვევაშიც კი ვეღარ აზიანებს ამ უჯრედების კედლებს და პროდუქტი გაღობის შემდეგ თითქმის არ განსხვავდება გაყინვამდე არსებული მდგომარეობისგან. ასეთი მეთოდით სასურსათო პროდუქტების, მათ შორის მცენარეული ნედლეულის დამუშავებისათვის საჭირო ხდება ახალი მოწყობილობები, რომლებიც მეთოდის სრულყოფილად რეალიზაციის შესაძლებლობას მოგვცემს და უზრუნველყოფს საბოლოო პროდუქტის ხარისხის მაქსიმალურად შენარჩუნების შესაძლებლობას.

ძირითადი ნაწილი

პროდუქტების გაცივება და გაყინვა თბოგადცემის პროცესებს მიეკუთვნება, რომლის ინტენსიფიკაციის ძირითადი საშუალება პროდუქტის მოძრაობაა თბოგადამცემი გარემოს მიმართ. თბოგა-

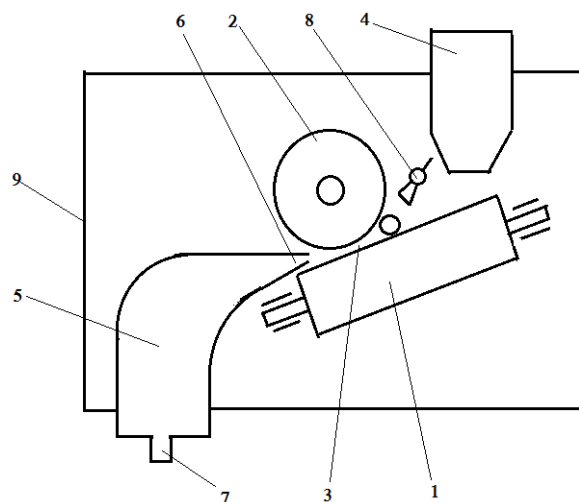
დამცემი გარემო ანუ მუშა აგენტი, უმეტეს შემთხვევაში, ჰაერია. დღეისათვის გამოყენებულ მრავალ კონსტრუქციაში გასაყინავი პროდუქტი უძრავ მდგომარეობაში იმყოფება, ხოლო მუშა აგენტი გამსჭვალავს ამ უძრავი პროდუქტის ფენას. ასეთი დამუშავება ხასიათდება თბოგადაცემისა და გაყინვის პროცესის ძალზე დაბალი ეფექტურობით.

მუშა აგენტსა და პროდუქტს შორის თბოგადაცემის გაუმჯობესების საუკეთესო საშუალებაა ერთმანეთის მიმართ მათი ფარდობითი გადაადგილება. ასეთი ეფექტი მიიღწევა, მაგალითად, მდულარე ან ფლუიდიზებულ ფენაში პროდუქტების დამუშავების შემთხვევაში, რომელიც პროდუქტის ყოველი ცალკეული ნაწილაკებისათვის მუშა აგენტის მიერ სრული გარშემოვლის ხარჯზე ხასიათდება ძალზე დიდი თბოგადაცემის ეფექტით. სწორედ ამიტომ, ასეთი დამუშავება საკმაოდ ეფექტურად გამოიყენება კვების მრეწველობაში. მაგრამ უნდა აღინიშნოს, რომ კვების მრეწველობაში არსებობს მრავალი ისეთი სასურსათო ნედლეული, რომელთა ფსევდოგათხევადებულ ფენაში გადაყვანა და დამუშავება, მათი ზომებიდან და ფორმებიდან გამომდინარე, პრაქტიკულად ძალზე ძნელია და, რაც შემთხვევებში, შეუძლებელიცაა.

სფერული ფორმის მქონე პროდუქტებისათვის მოძრაობის (ბრუნვის) მინიჭება შედარებით მარტივია. მაგრამ აგრარული პროდუქტების მნიშვნელოვანი ნაწილი არის არა სფერული (ან მასთან მიახლოებული), არამედ წაგრძელებული ფორმის, რაც განაპირობებს ასეთი პროდუქტების ბრუნვისათვის განსხვავებული კონსტრუქციული გადაწყვეტილების მიღების აუცილებლობას. მუშა აგენტით ისეთი წაგრძელებული ფორმის პროდუქტების

დამუშავება, როგორიცაა, მაგალითად, კიტრი, სტაფილო, ბადრიჯანი, ნესვი და სხვა, შეიძლება გამოყენებული იყოს მათი ბრუნვით გრძივი ღერძის გარშემო.

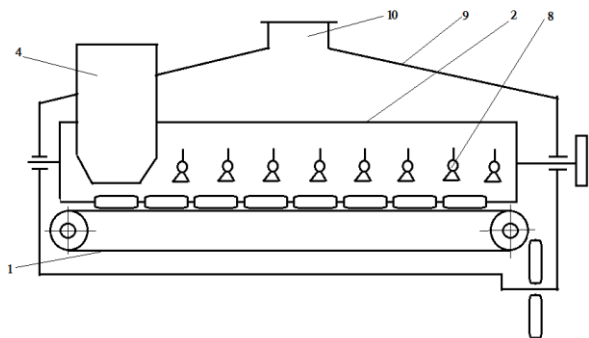
წაგრძელებული ფორმის მქონე სასურსათო ნედლეულის მაღალი ეფექტურობით გასაყინავი მოწყობილობის პრინციპული სქემა წარმოდგენილია 1-ელ და მე-2 სურათებზე.



სურ. 1. წაგრძელებული ფორმის მქონე ნედლეულის გასაყინავი მოწყობილობის პრინციპული სქემა (განივი ხედი)

მოწყობილობის ძირითადი მუშა ელემენტია კოორდინატორული ლენტური ტრანსპორტიორი 1, რომელიც განივი მიმართულებით დახრილად განლაგებული. ტრანსპორტიორის დახრილი ქვედა ნაწილის თავზე განლაგებულია ცილინდრული დოლი 2 ისე, რომ მათ შორის დატოვებულია მუდმივი ღრეჩო 3. ამ ღრეჩოს სიდიდე აიღება პროდუქტის დიამეტრის მიხედვით - ღრეჩოს სიდიდე ნაკლები უნდა იყოს გასაყინავი პროდუქტის დიამეტრზე. დოლისა და ლენტური ტრანსპორტიორის სიგრძეები ერთმანეთის ტოლია. ლენტური ტრანსპორტი-

ორის ჩატვირთვის მხრიდან განლაგებულია ჩამტვირთავი ბუნკერი 4, საიდანაც ხდება გასაყინავი ნედლეულის ჩატვირთვა ტრანსპორტიორსა და დოლს შორის. ტრანსპორტიორის დახრილი ქვედა ნაწილის თავზე განლაგებულია მუშა აგენტის (ცივი ჰაერის) მიმცვანი კამერა 5, რომლის ჰაერის გამომშვები არხი 6 ტრანსპორტიორისა და დოლის სიგრძის ტოლია და მიმართულია მათ შორის არსებული ღრეჩოს 3 ღერძისაკენ. კამერას 5 აქვს მუშა აგენტის მიმცვანი მილყელი 7. ტრანსპორტიორსა და დოლს შორის არსებული ღრეჩოს 3 გასწვრივ მუშა აგენტის მიმცვანი არხის საპირისპირო მხრიდან მის მიმდებარედ მოთავსებულია აკუსტიკური ბგერების გენერატორები 8, რომლებიც ღრეჩოს მთელ სიგრძეზე გარკვეული ბიჯითაა ერთმანეთისაგან დაშორებული. მოწყობილობა განლაგებულია კორპუსში 9, რომელსაც აქვს ნამუშევარი აგენტის შემკრები და გამომცვანი მილყელი 10.



სურ. 2. წაგრძელებული ფორმის მქონე ნედლეულის გასაყინავი მოწყობილობის პრინციპული სქემა (გრძივი ხედი)

მოწყობილობა შემდეგნაირად მუშაობს:

ჩაირთვება ამბრავი, რომელიც უზრუნველყოფს ლენტური ტრანსპორტიორისა და ცილინდრული დოლის მოძრაობაში მოყვანას. ლენტური ტრანს-

პორტიორის ჰორიზონტალური მიმართულებით მოძრაობის პარალელურად ცილინდრული დოლი ბრუნავს ტრანსპორტიორის ლენტისადმი მართობული მიმართულებით. ამის შემდეგ იწყება ბუნკერიდან გასაყინავი ნედლეულის მიწოდება ტრანსპორტიორის ლენტზე ისე, რომ ნედლეულის ნაწილაკების გრძივი ღერძი განლაგებული იყოს ტრანსპორტიორის გასწვრივ. აღნიშნული წაგრძელებული ფორმის მქონე პროდუქტი მოხვდება ლენტსა და დოლს შორის და გადაადგილდება ტრანსპორტიორის გამომტვირთი ნაწილისაკენ. ამ დროს ნედლეულის ყოველი ნაწილაკი მოთავსებულია ტრანსპორტიორის ლენტსა და ცილინდრულ დოლს შორის. შესაბამისად, ამ ელემენტების მოძრაობა განაპირობებს, ერთი მხრივ, ნედლეულის გადაადგილებას ტრანსპორტიორის ლენტთან ერთად მისი გამოსასვლელი ნაწილისაკენ, ხოლო, მეორე მხრივ, ნაწილაკების ბრუნვას საკუთარი ღერძის გარშემო, ცილინდრული დოლის ზედაპირთან შეხების გამო. ასეთი კომბინირებული მოძრაობის პირობებში პროდუქტის ყოველ ნაწილაკზე მუშა აგენტი (ცივი ჰაერის) ზემოქმედებს, რომელიც მის სწრაფად გაყინვას განაპირობებს. ამასთან, პროდუქტის ყოველი ნაწილაკის იმ ზედაპირზე, რომელიც ამ მომენტში არ იმყოფება მუშა აგენტის ზემოქმედების არეში, ზემოქმედებს გენერატორებიდან 8 გამომავალი აკუსტიკური ბგერები, რაც ხელს უწყობს პროდუქტში ძალზე მცირე ზომის ყინულის კრისტალების წარმოქმნას და, შესაბამისად, გაყინვისას პროდუქტის ხარისხის მაქსიმალურად შენარჩუნებას. ტრანსპორტიორის გამოსატვირთი ბოლოს მიღწევის შემდეგ უკვე გაყინული პროდუქტი გამოდის მოწყობილობიდან და შესანახად იგზავ-

ნება -18°C ტემპერატურის მქონე მაცივარში. მოწყობილობის კონსტრუქცია უზრუნველყოფს, რომ პროდუქტის ყოველ ნაწილაკზე მუშა აგენტის ზემოქმედება ხდება ერთი მხრიდან (დრეკოს 3 გავლით), ხოლო აკუსტიკური ბგერების ზემოქმედება იმავე დრეკოსათვის – მეორე მხრიდან. ეს უზრუნველყოფს, რომ აკუსტიკური ბგერებისა და მუშა აგენტის ზემოქმედება ერთმანეთს არ ემთხვევა და, შესაბამისად, ადგილი არ აქვს მათ მიერ ერთმანეთზე უარყოფით გავლენას.

დასკვნა

წარმოდგენილ მოწყობილობაში შესაძლებელია როგორც სფეროსებრი, ისე წაგრძელებული ფორმის

მქონე აგრარული ნედლეულის გაცივება და გაყინვა. თბოგადაცემის პროცესის მაღალ ინტენსივობას უზრუნველყოფს ნედლეულის განუწყვეტელი ბრუნვა სითბოს გადამცემი მუშა აგენტის მიმართ. გაყინვის თვალსაზრისით, ძალზე მნიშვნელოვანია გაყინვის პროცესში გენერატორების მიერ გენერირებული აკუსტიკური ტალღების ზემოქმედება პროდუქტზე, რაც განაპირობებს პროდუქტის უჯრედებში ძალზე მცირე ზომის ყინულის კრისტალების წარმოქმნას და შედეგად გაყინული პროდუქტის მასის, ფერის, გემოსა და არომატის შენარჩუნებას. მნიშვნელოვანია აგრეთვე წარმოდგენილი მოწყობილობის მარტივი კონსტრუქცია, დამზადებისა და ექსპლუატაციის სიმარტივე.

ლიტერატურა

1. Lazarashvili, A., Goletiani, G., & Isakadze, T. (2024). *Acoustic shock freezing device*. Proceedings of Georgian Technical University, (3), 533. Tbilisi: Technical University.
2. Megrelidze, T., Gakhokidze, R., Gugulashvili, G., Sadaghashvili, E., & Grdzlishvili, G. (2013). *Thermophysical properties of food products during cold processing*. Tbilisi: Technical University.
3. Goletiani, G., Lazarashvili, Z., Isakadze, T., & Gugulashvili, G. (2022). *Design of a cold storage facility for food products* [Electronic lecture course]. Tbilisi: Technical University. Central Library of GTU. CD-6914.
4. Megrelidze, T., Goletiani, G., Gugulashvili, G., Isakadze, T., & Beruashvili, G. (2018). *Food products refrigeration technology* [Electronic lecture course]. Tbilisi: Technical University. Central Library of GTU. CD-4968.
5. Grover, Y., & Nedi, P. S. (2023). Recent developments in freezing of fruits and vegetables: Striving for controlled ice nucleation and crystallization with enhanced freezing rates. *Review Article*, Department of Fruit and Vegetable Technology, CSIR-CFTRI, Mysuru, India.
6. Cheng, X., Zhang, M., Xu, B., Adhikari, B., & Sun, J. (n.d.). The principles of ultrasound and its application in freezing-related processes of food materials. *A Review*. State Key Laboratory of Food Science and Technology, Jiangnan University, Wuhu, Anhui, China.
7. Nelson, K. H. (1953). *Study of the freezing of sea water* (PhD thesis). University of Washington.

UDC 66.045

SCOPUS CODE 2210

<https://doi.org/10.36073/1512-0996-2025-3-303-308>**Device for Freezing Elongated Vegetable Raw Materials**

- Amiran Lazarashvili** Department of Mechanical Engineering and Industrial Technologies, Georgian Technical University, Georgia, 0160, Tbilisi, 68^a, M. Kostava str.
E-mail: aka.lazarashvili@gmail.com
- Givi Goletiani** Department of Mechanical Engineering and Industrial Technologies, Georgian Technical University, Georgia, 0160, Tbilisi, 68^a, M. Kostava str.
E-mail: g.goletiani@yahoo.com
- Zurab Lazarashvili** Department of Mechanical Engineering and Industrial Technologies, Georgian Technical University, Georgia, 0160, Tbilisi, 68^a, M. Kostava str.
E-mail: z.lazarashvili@gtu.ge
- Givi Gugulashvili** Department of Mechanical Engineering and Industrial Technologies, Georgian Technical University, Georgia, 0160, Tbilisi, 68^a, M. Kostava str.
E-mail: givi.gugulashvili@gmail.com
- Tengiz Rukhadze** Department of Mechanical Engineering and Industrial Technologies, Georgian Technical University, Georgia, 0160, Tbilisi, 68^a, M. Kostava str.
E-mail: rukhadzetengo@gmail.com

Reviewers:**V. Qiria**, Professor, Faculty of Transport Systems and Mechanical Engineering, GTU

E-mail: v.qiria@gtu.ge

Z. Mchedlishvili, Associate Professor, Faculty of Transport Systems and Mechanical Engineering, GTU

E-mail: z.mchedlishvili@gtu.ge

Abstract. To maximize the preservation of the quality of plant raw materials during long-term storage, the best way is freezing using modulated crystal technology, which involves exposure to acoustic waves in parallel with rapid freezing. To implement this method, it becomes necessary to develop new equipment suitable for a specific type of product due to the fact that agricultural products are quite diverse both in terms of biochemical composition and physical state (weight, shape, quality of maturity, etc.). A schematic diagram of a new device for freezing with modulated crystal technology is presented, which can be used for freezing elongated agricultural raw materials

Keywords: Acoustic waves; Freezing; Maintaining quality; Modulated crystal technology; Vegetable raw materials.

განხილვის თარიღი 28.10.2024

შემოსვლის თარიღი 12.02.2025

ხელმოწერილია დასაბეჭდად 25.09.2025