

VEIKSNIŲ, ĮTAKOJANČIŲ EKOLOGIŠKAI ŠVARIOS ŠALDYMO TECHNOLOGIJOS PROCESĄ, ĮVERTINIMAS

DETERMINATION OF THE FACTORS INFLUENCING THE ECO-FRIENDLY FREEZING TECHNOLOGY PROCESS

Boris Marinyuk¹, Aleksandr Pushnov², Eglė Jotautienė³, Antanas Pocius⁴

^{1,2} Maskvos valstybinis Aplinkos inžinerijos universitetas 21/4,

Staraya Basmannaya g. 107.884 Maskva, Rusija

^{3,4} Aleksandro Stulginskio universitetas

Studentų 11, LT-53361, Akademija, Kauno r.

El. paštas: marinyuk@msuie.ru, egle.jotautiene@asu.lt, antanas.pocius@asu.lt

Gauta 2013-03-21, pateikta spaudai 2013-09-02

Tiek Lietuva, tiek ir Europos Sąjunga skiria didelį dėmesį maisto apsaugos ir sveikatos politikai. Žemės ūkyje neužtenka užauginti bei pagaminti produktus, juos reikia tinkamai paruošti bei išsaugoti, kad jie būtų reikiamos kokybės. Pastoviai brangstant laikymo įrangai bei energijai, ieškoma ekologiškų, energiją taupančių produktų laikymo būdų. Vienas iš jų yra vakuuminis užšaldymas.

Straipsnyje išnagrinėta bei įvertinta veiksniai, įtakojantys ekologiškai švarios vakuuminio šaldymo technologijos procesą. Vandens lašelių užšaldymo tyrimui atlikti vakuume buvo sukonstruota speciali įranga. Šiam procesui aprašyti pasiūlytas analitinis metodas. Nustatyti svarbiausi veiksniai, kurie turi didelę įtaką užšaldymo procesui. Gauti teoriniai rezultatai patvirtino eksperimentinius rezultatus.

Įvadas

Vandens ledo suspensija yra ledo dalelių mišinys su vandeniu. Ledo suspensija turi daugiau privalumų, palyginus su užšaldymu žemos temperatūros vandenyje [1]. Todėl vandens, kuriame yra ledo gabaliukų, pritaikymas gali būti labai platus visose ūkio srityse: žemės ūkyje, maisto pramonėje, medicinoje ir t.t. Žemės ūkyje vienas iš pagrindinių produktų yra pienas. Pasaulinėje maisto produktų rinkoje pienas dėl ekonominės bei socialinės reikšmės laikomas strategine preke, kurią reikia tinkamai paruošti bei laikyti. Pienui keliami griežti reikalavimai kokybei. Tad šiam produktui laikyti galima būtų siūlyti ekologiškus energiją taupančius užšaldymo būdus.

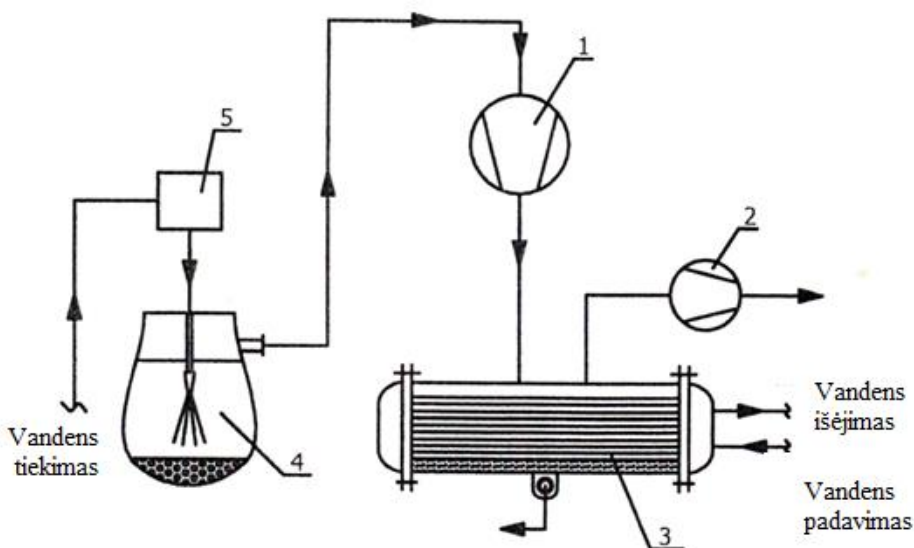
Yra keletas mokslinėje literatūroje žinomų ledo dalelių susidarymo būdų. Vakuuminis užšaldymo metodas yra vienas iš jų. Šaldant šiuo metodu būtinos sudėtinės dalys yra skysčio šaldymo įrenginys (mašina) ir ledo generatorius. Jie pri-

valo būti sumontuoti viename įrenginyje. Mokslinėje literatūroje ši nauja technologija nėra plačiai ištirta [2, 4].

Darbo tikslas išnagrinėti bei įvertinti veiksnius, įtakančius ekologiškai švarios vakuuminio šaldymo procesą.

Tyrimo objektas

Vandens lašelių užšaldymo tyrimui vakuume atlikti buvo sukurtas specialus įrenginys. Šis įrenginys susideda iš nedidelio skaičiaus įrangos, tai mažina jo savi kainą bei didina patrauklumą jį pritaikant. Šio įrenginio principinė schema pateikta 1 paveiksle. Bandomasis įrenginys susideda iš pagrindinio vakuuminio siurblio 1, pagalbinio rotacinio siurblio 2, vandens kondensatoriaus vamzdelių 3, cilindro formos hermetiškai užsandarinto garintuvo 4 ir pagalbinės talpos 5 – vandens kolektoriaus. Vandens dalelių generatorius yra tiesus kanalas, kurio vidinis skersmuo $d = 1,4$ mm su viduje įmontuotu cilindro formos garintuvu. Veiklusis purkštuko kanalo ilgis yra 25 mm.



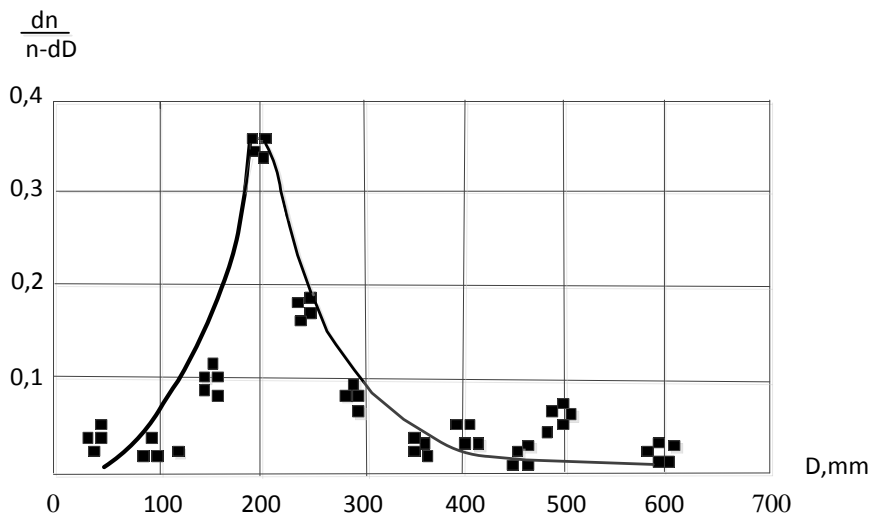
1 pav. Vakuuminio metodo principinė schema: 1 – vakuuminis siurblys, 2 – pagalbinis rotacinis siurblys, 3 – vandens kondensatorių vamzdeliai, 4 - cilindro formos hermetiškai užsandarintas garintuvas, 5 – vandens kolektorius

Figure 1. The principal scheme of vacuum method: 1 – a vacuum pump, 2- an auxiliary rotary pump, 3 – shells of water condenser, 4 -cylindrical hermetically sealed evaporator, 5 – collector of water

Pateiksime įrenginio veikimo būdą. Pirmiausia oras siurbiamas iš įrenginio vidaus tūrio vakuuminio siurblio pagalba. Pasiekus reikiamą likutinį slėgį, įsijungia pagrindinis siurblys. Siurbliui dirbant vandens garais užpildo kondensatorius, kur išorinio šalto vandens ir šilumos pagalba gaunamas skystis. Antrasis proceso etapas

prasideda įpurškiant vandenį į garintuvo vakuuminę erdvę per tiesų kanalo antgalį. Kai vanduo ties antgaliu atvėsta iki +1... +3 °C ir vandens slėgis artėja savo verte prie atmosferos slėgio, tuo metu prie antgalio angos susidaro vandens lašeliai, jie sušaldomi į ledo daleles talpos 5 vakuuminėje erdvėje.

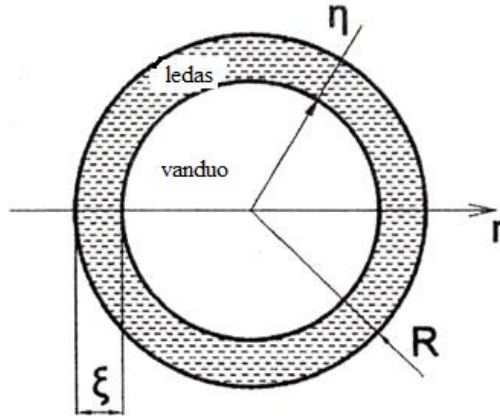
Buvo atlikti specialūs tyrimai nustatant ledo dalelių matmenis. Jie parodė, kad vandens dalelių skersmens vidurkis yra beveik 0,25 mm. Duomenų pasiskirstymo dėsnis yra artimas normaliajam arba Gauso pasiskirstymui (2 pav.).



2 pav. Ledo dalelių paskirstymo dėsnis (eksperimentiniai duomenys)
Figure 2. Distribution law of ice particles (experimental data)

Teoriniai tyrimai ir rezultatai

Iš vandens lašelių šiluma išgaunama, išsiurbiant garų drėgmę greičiu S , m^3/s . Viso proceso metu greitis laikomas pastoviu. Aplinkos oro šilumos srautas perduotas lašeliams gali būti priimamas kaip nereikšmingas dydis (garintuvas yra šilumos izoliacijos sluoksnis) [3]. Sublimacijos L^* latentinė šiluma ir ledo šilumos laidumas λ yra žinomi ir nepriklauso nuo temperatūros. Vanduo viduje lašelių nesimaišo (sistemoje nėra konvekcijos). 3 paveiksle matome aprašytą procesą iliustruojantį vaizdą, čia ξ – šaldymo sluoksnio gylis, η – fazės pasikeitimo koordinatė, R – išorinis vandens lašelio spindulys, r – sferinė koordinatė.



3 pav. Procesą iliustruojantis vaizdas

Figure 3. The illustration picture of the process

Sistemos ribinę sąlygą pavaizduotą 3 paveiksle (vakuuminei erdvei) galima užrašyti sekančia išraiška:

$$-\lambda \left. \frac{\partial T}{\partial r} \right|_{r=R} = S^* \cdot L^* \cdot \rho^* \quad (1)$$

čia ρ^* – sočiųjų garų tankis, kg/m^3 .

Vandens - ledo susilietimo riboje (pav. 3) galioja sekanti išraiška:

$$-\lambda \left. \frac{\partial T}{\partial r} \right|_{r=R} = L \cdot \frac{\sigma \eta}{\sigma r} \cdot \rho_{ice} \quad (2)$$

čia: L – vandens užšalimo į ledą latentinė šiluma, J/kg ; ρ_{ice} – vandens ledo tankis, kg/m^3 .

Temperatūros pasiskirstymas viduje užšaldyto ledo sferinio sluoksnio priimtas kaip pastovi būseną.

$$T(r, \tau) = \frac{T_f - T_0}{R - \eta} \cdot R \cdot \left(\frac{\eta}{r} - 1 \right) + T_0 \quad (3)$$

čia: T_0 – kintama temperatūra užšaldyto ledo paviršiaus sluoksnyje, kuris ribojasi su vakuumine erdve, K ; T_f – fazės pasikeitimo temperatūra, K ; τ = proceso laikas, s .

Išdiferencijavus (3) lygtį ir įstačius rezultatus į lygtį (2), gaunama:

$$\frac{T_f - T_0}{R - \eta} \cdot \frac{\eta}{R} = \frac{S^* \cdot L^*}{\lambda} \cdot \frac{P \cdot \mu}{T_0 \cdot R_g} \quad (4)$$

ir:

$$\frac{T_f - T_0}{R - \eta} \cdot \left(-\frac{R}{\eta} \right) = \frac{L \cdot \rho_{ice}}{\lambda} \cdot \frac{d\eta}{d\tau} \quad (5)$$

čia: μ – vandens molekulinė masė, mol ; R_g – universalioji dujinė konstanta, J/kg K ; P – slėgis, Pa .

Atskiriant kintamuosius ir integruojant, gauname sekančią lygtį:

$$\tau_0 = \tau_f - \frac{L \cdot \rho_{ice}}{\lambda \cdot R \cdot \tau} \left(\frac{\eta^3}{3} - \frac{R \cdot \eta^2}{2} + \frac{R^3}{6} \right) \quad (6)$$

Ši gauta svarbi išraiška parodo analitinę sąveiką tarp pagrindinių šio proceso η , τ ir T_0 parametrų.

Vandens garų slėgis priklauso nuo temperatūros, ji gali būti išreikšta empirine koreliacija, kuri yra teisinga tiriamame temperatūros intervale:

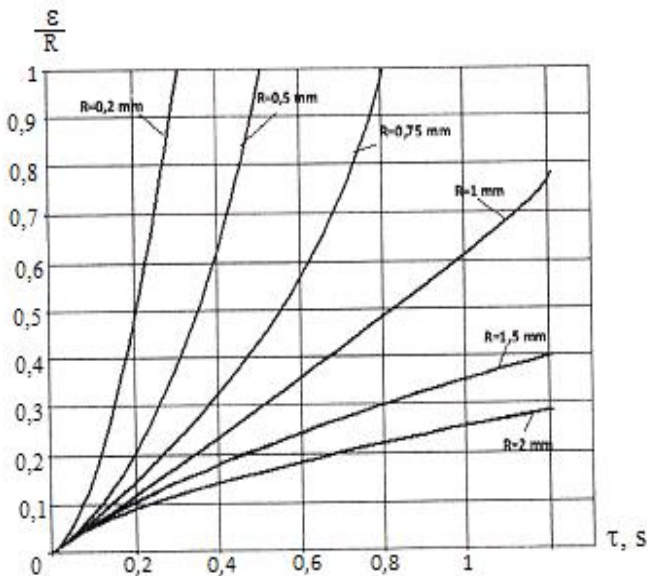
$$P = 35 \cdot T_0 - 8940 \quad (7)$$

čia: 35 – empirinis koeficientas, Pa/K; 8940 – empirinis koeficientas, Pa; T_0 – temperatūra, K.

Iš (7), (4) ir (5) lygčių gauname:

$$\frac{L \cdot \rho_{ice}}{R \cdot \tau (R - \eta)} \left(\frac{\eta^4}{3 \cdot R} + \frac{R^2 \cdot \eta}{6} - \frac{\eta^3}{2} \right) = \frac{S^* \cdot L^* \cdot \mu}{R_g} \left(35 - \frac{8940}{\tau_f - \frac{L \cdot \rho_{ice}}{\lambda \cdot R \cdot \tau} \left(\frac{\eta^3}{3} + \frac{R^3}{6} - \frac{R \cdot \eta^2}{2} \right)} \right) \quad (8)$$

(8) lygtis susieja vandens termofizikines savybes, lašelių geometrinius matmenis, šaldymo proceso laiką ir vakuuminio siurblio efektyvų greitį. Šie parametrai yra pagrindiniai veiksniai, nustatantys įrenginio talpą ledo dalelėms.



4 pav. Skaičiavimų rezultatai

Figure 4. The results of calculations

Skaičiavimų rezultatai, naudojantis (8) lygtimi, pateikti 4 paveiksle. Jie parodo užšalimo santykinę gylį viduje vandens lašelių, kaip funkcija nuo laiko ir lašelių matmens R .

Išvados

1. Atlikti moksliniai tyrimai įrodė galimybę gauti vandens ledo daleles vakuuminės technologijos pagalba.
2. Eksperimentiniu būdu buvo sukurtos vandens ledo dalelės, kurių vidutinis skersmuo 0.2 mm, esant 1-1.2 atmosferos slėgiui.
3. Analitiniu metodu išvesta lygtis (8) susieja vandens termofizikines savybes, lašelių geometrinius matmenis, šaldymo proceso laiką ir vakuuminio siurblio efektyvų greitį. Šie veiksniai yra pagrindiniai, įtakoiantys ekologiškai švarios vakuuminio šaldymo technologijos procesą.

Literatūra

1. Paul, J. State-of-the-art for cooling with „water as Refrigerant“ (R718), international congress of refrigeration, *Refrigeration creates the future*. August 21–26, Beijing. Beijing, 2007. P. R. China. ICR07-B2-856.
2. Marinyuk, B. T.; Ermolaev, A. E.; Suslikov, D.V. Vacuum methods methods of water ice formation, *8th IIR Gustav Lorentzen Conference on Natural Working Fluids*. September 7–10, 2008, Copenhagen. 2008. pp.
3. Milici, K.; Geiger, G. Progressing The Frontier of Cooling Water Process Control. *2009 Cooling Technology Institute Annual Conference*, Paper No. TP09-19, San Antonio, TX, February 4-7, 2009.
4. Lund, B.; Baird-Parker, T. C. Grahame Warwick Gould. *Microbiological Safety and Quality of Food*, 2000. Aspen Publishers, Inc., P. 1882.

Boris Marinyuk, Aleksandr Pushnov, Eglė Jotautienė, Antanas Pocius

DETERMINATION OF THE FACTORS INFLUENCING THE ECO-FRIENDLY FREEZING TECHNOLOGY PROCESS

Summary

Lithuania and the European Union are attached a great importance to food safety and public health. Growing and producing products aren't enough in agriculture. They should be properly prepared and maintained so that they have the required quality. It is looking for the product storage of eco-friendly and energy-efficient methods, because constantly increasing the prices of storage equipment and energy. One of them is a vacuum freezing method.

The paper analyzed and evaluated the factors that influencing the cooling process of environmentally friendly vacuum technology. The special equipment for investigation of water droplets freezing under vacuum was designed. The analytical method is proposed to

describe this process. The most important factors that have a significant influence on the freezing process were revealed. The theoretical results have a good agreement with the experimental results.

Борис Маринюк, Александр Пушнов, Эгле Йотаутене, Антанас Поцюс

УСТАНОВЛЕНИЕ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА ЭКОЛОГИЧЕСКИ- ЧИСТЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС ЗАМОРАЖИВАНИЯ

Резюме

Литва, как и Евросоюз, уделяет особое внимание политике пище хранения и здоровья. Мало того вырастить и произвести продукты на сельском хозяйстве, но необходимо также обеспечить качественного хранения и переработку. С постоянным ростом цен на оборудование, хранение и энергию необходимо искать новые, экологические энергию сберегающие способы хранения продовольствия. Одним из них является вакуумное замораживание.

В статье исследуются и оцениваются факторы влияющие на экологически чистый технологический процесс вакуумного замораживания. Для проведения исследования замораживания водяных капель, была разработана специальная установка. Описать данный метод предложен аналитический метод. Установлены главные факторы, имеющие наибольшее влияние процессу замораживания. Получены теоретические результаты подтверждаются экспериментальными исследованиями.