

DOI: 10.5281/zenodo.3947164

CZU: 637.133.1

ELABORAREA INSTALAȚIEI FRIGORIFICE AUTOMATIZATE CU CONSUM REDUS DE ENERGIE ELECTRICĂ PENTRU RĂCIREA LAPTELUI

*Anatolie Daicu, Elena SCRIPNIC, Augustin VOLCONOVICI, Ala CHIRSANOVA,
Onorin VOLCONOVICI, Victorin SLIPENCHI, Ina VOLCONOVICI*

Abstract. The aim of the study has been to determine the optimum period and the efficiency of the use of the automated installation with low energy consumption for milk cooling using natural cold. The use of the natural cooling installation in the cold season and of the combined installation (refrigeration installation and natural cooling installation) in the warm season was substantiated from the point of view of energy saving. The specific consumption of electrical energy for milk cooling by using natural cold constitutes 0,3 kW h/t in the cold season against 30-35 kW h/t when using typical refrigeration installations. From the analysis of temperatures registered in the central zone of the Republic of Moldova, it was established that the natural cooling installation might be used for milk cooling, including in the months of October and April, the duration of water cooling in the cold accumulator constituting several hours (from 4 to 13 hours for $t \leq 4^{\circ}\text{C}$).

Key words: Milk cooling; Natural cold; Refrigeration installation; Atmospheric temperature; Operating algorithms.

Rezumat. Scopul studiului este de a determina perioada optimă și eficiența utilizării instalației automatizate cu consum redus de energie electrică pentru răcirea laptelui cu utilizarea frigului natural. S-a argumentat din punct de vedere a economiei de energie electrică utilizarea instalației cu frig natural în perioada rece a anului și a instalației combinate (instalația frigorifică și instalația cu frig natural) în perioada caldă a anului. Consumul specific de energie electrică pentru răcirea laptelui cu aplicarea frigului natural constituie 0,3 kW h/t în perioada rece a anului, față de 30-35 kW h/t la utilizarea instalațiilor frigorifice tipice. Din analiza temperaturilor înregistrate în zona centrală a Republicii Moldova s-a constatat, că instalația cu frig natural ar putea fi utilizată pentru răcirea laptelui inclusiv și în lunile octombrie și aprilie, durata de răcire a apei în acumulatorul de frig constituind câteva ore (de la 4 până la 13 ore pentru $t \leq 4^{\circ}\text{C}$).

Cuvinte-cheie: Răcirea laptelui; Frig natural; Instalație frigorifică; Temperatura aerului atmosferic; Algoritmi de funcționare.

INTRODUCERE

Una dintre principalele sarcini în procesarea primară a laptelui la fermele de bovine este menținerea calității ridicate a laptelui produs. Acest lucru este posibil inclusiv prin scăderea temperaturii laptelui cu ajutorul sistemelor de răcire. Funcționarea și întreținerea acestor instalații implică însă anumit consum de energie electrică care, în consecință, afectează direct, într-o măsură mai mare sau mai mică, prețul produsului final (Шилин, В.А., Герасимова, О.А., Лобачев, А.В. 2012). Astfel, creșterea eficienței economice și economisirea energiei electrice utilizate de instalațiile frigorifice se impune drept unele dintre obiectivele majore ale producției de lapte.

Îmbunătățirea calității laptelui în timp ce se reduce intensitatea și complexitatea energetică a procesului de prelucrare este imposibilă fără o ajustare funcțională a sistemelor de răcire. În acest sens devine foarte importantă dezvoltarea instalațiilor frigorifice care utilizează frig natural, precum și a tehnologiilor computerizate pentru controlul proceselor de răcire și acumulare de frig în moduri optime, care să reducă consumul de energie electrică al procesului și să înlocuiască maximal munca manuală (Лавров, В.А. 2006; Кушнир, М. 2015). Astfel, o importanță și un rol deosebit în automatizarea instalației nominalizate îl au grafurile automate.

În industria frigorifică, pentru depozitarea alimentelor și păstrarea laptelui, în scopul reducerii costurilor de energie electrică, sunt utilizate pe scară largă acumuloarele cu frig. Acestea se încarcă în timpul funcționării instalațiilor la temperaturi scăzute și sunt destinate răcirii ulterioare a laptelui. Acumuloarele de acest tip pot fi utilizate și în combinație cu o instalație frigorifică (Лесюк, Е.А. 1999).

Utilizarea acumuloarelor cu frig este recomandată pentru instalațiile frigorifice care funcționează în condiții de încărcare zilnică neuniformă la valori maxime. În prezent, în practica mondială, acumuloarele cu frig contribuie la reducerea cheltuielilor necesare pe care le implică obținerea cantității necesare de frig, iar acest lucru se datorează costului diferit al energiei electrice în timpul zilei și al nopții. Astfel, acumulatorul cu frig se încarcă în timpul nopții, atunci când energia electrică este mai ieftină, și se utilizează în timpul zilei.

Metodele de economisire a energiei electrice și echipamentele utilizate conduc nemijlocit la modificarea semnificativă a structurii liniilor tehnologice, a modului de funcționare și de control al acestora. O problemă aparte o constituie controlul fluxurilor de lapte răcit de frigul artificial și natural, într-o gamă largă de temperaturi exterioare.

Având în vedere extinderea gamei de utilaje și echipamente, precum și varietatea de scheme tehnologice, ar fi de mare folos tipizarea și unificarea algoritmilor de control, a mijloacelor tehnice și a echipamentelor electrice ale liniilor tehnologice (Учеваткин, А. 2008; Мусин, А., Марьяхин, Ф. et al. 2006).

Problema utilizării frigului natural pentru răcirea laptelui este foarte actuală și pentru Republica Moldova, care importă peste 90% din resursele energetice. Instalațiile cu frig natural sunt ecologice (exclud utilizarea freonului), au un consum redus de energie electrică (0,3 kWh/t) la acumularea frigului și nu necesită încăperi frigorifice suplimentare, toate acestea contribuind la ameliorarea indicilor economici (Daicu, A., Slipenchi, V. et al. 2019; Волконович, Л., Сырги, К. 2002). Totodată puterea electrică a instalației frigorifice la utilizarea frigului natural și artificial se reduce de 1,6-1,7 ori.

Scopul studiului este de a determina eficiența utilizării instalațiilor cu frig natural și artificial cu consum redus de energie electrică pentru răcirea laptelui în Republica Moldova.

MATERIALE ȘI METODE

Studiul a fost efectuat în baza datelor experimentale obținute la complexul didactico-experimental al Universității Agrare de Stat din Moldova (UASM), unde a fost implementat sistemul combinat de răcire, care include instalația frigorifică (cu frig artificial) și instalația cu frig natural pentru răcirea laptelui.

În baza grafurilor automate și a algebrei logice au fost elaborați algoritmi de funcționare a instalației automatizate cu frig natural și artificial pentru răcirea laptelui în flux.

Pentru stabilirea legității de distribuire a temperaturii aerului atmosferic $F(t)$ și aproximației acesteia au fost utilizate datele meteorologice pentru 24h în lunile octombrie 2019 și aprilie 2020 înregistrate la Centrul Meteorologic din mun. Chișinău și la complexul didactico-experimental al UASM.

REZULTATE ȘI DISCUȚII

În perioada rece a anului, răcirea laptelui cu utilizarea frigului natural este mai avantajoasă din punct de vedere al economiei de energie electrică (Fig. 1a)). Fără utilizarea instalației frigorifice, răcirea apei în acumulatorul cu apă A are loc doar la temperaturi joase ale aerului atmosferic ($t \leq 4^{\circ}\text{C}$). În acest caz, consumul specific de energie electrică pentru răcirea laptelui este de 0,3 kW/h, față de 30-35kW/h la instalațiile frigorifice tipice.

Utilizarea acumulatorului cu frig și în perioada caldă a anului, când $t > 4^{\circ}\text{C}$ (Fig. 1b)), permite reducerea puterii electrice a instalației frigorifice de circa 1,6-1,7 ori.

Totodată răcirea apei în acumulator în afara orelor de vârf ale consumului de energie, conform Agenției Naționale pentru Reglementare în Energetică a Republicii Moldova (ANRE), permite reducerea plății pentru energia electrică cu 40% (Fig. 2).

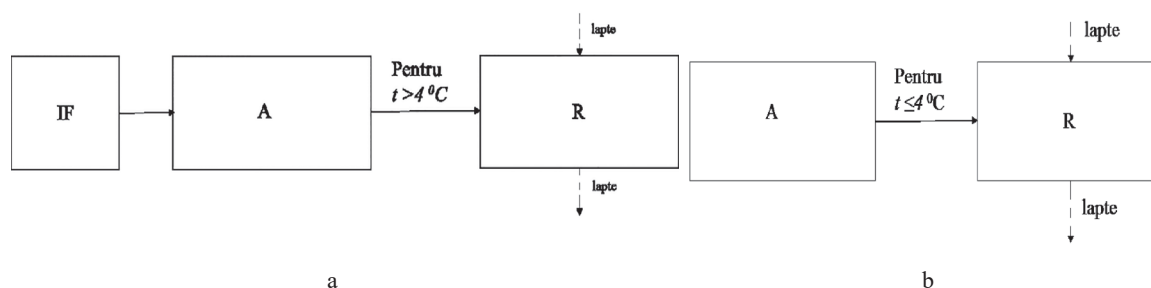


Figura 1. Răcirea laptelui cu utilizarea frigului natural (a)) și artificial (b))

A – acumulator cu apă; R – răcitor; IF – instalație frigorifică

Utilizarea în liniile de prelucrare primară a laptelui a acumuloarelor cu frig în combinație cu instalațiile frigorifice permite diminuarea esențială a costurilor pentru consumul de energie electrică la răcirea laptelui. În acest scop, apa în acumulatorul cu frig al instalației frigorifice se va răci în perioada cu

tarif minim al energiei electrice. Conform anexei la Hotărârea Agenției Naționale pentru Reglementarea Energiei nr. 43 din 11 septembrie 2001, consumatorii casnici care posedă utilajul de măsurare corespunzător, plata pentru energia electrică folosită poate fi efectuată conform unor tarife diferențiate în funcție de timpul consumării:

- între orele 10-17, 20-22, trimestrele I și IV ale anului, și orele 10-20, trimestrele II și III ale anului – cu coeficientul 1,0 din tariful stabilit;

- în orele de vârf 7-10, 17-20, trimestrele I și IV ale anului, și în orele de vârf 7-10, 20-22, trimestrele II și III ale anului – cu coeficientul 1,6 din tariful stabilit;

- în orele de noapte, pe tot parcursul anului, de la ora 22 până la ora 7 – cu coeficientul 0,6 din tariful stabilit.

Cu alte cuvinte, în cazul utilizării frigului acumulat cu utilizarea energiei electrice între orele 22 și 7, costul energiei electrice se reduce cu 40% (fig. 2). [<http://www.anre.md/tarife-in-vigoare-3-204>].

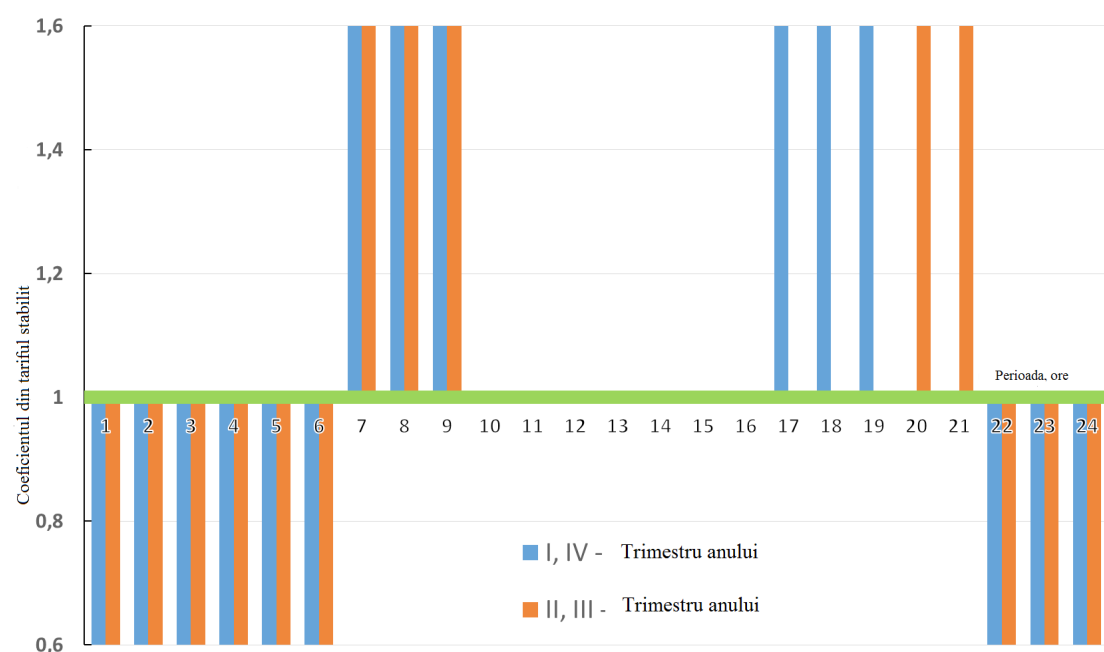


Figura 2. Costul energiei electrice consumate conform tarifelor diferențiate în funcție de perioada de consum

Schema funcțional-structurală a instalației cu utilizarea frigului natural și artificial este prezentată în figura 3, care reflectă principiul și metoda de funcționare a sistemului în procesul de răcire a laptelui cu aplicarea frigului natural (Volconovici, L., Crețu, V. et al. 2011a; Volconovici, L., Crețu, V. et al. 2011b; Volconovici, A. 2009).

În conturul de circulare sunt instalate compresorul instalației frigorifice reîncărcabile (1), condensatorul (2), evaporatorul (3), supapa termostatică (4); în conturul de circulare a agentului frigorific – schimbătorul de căldură (5), pompa agentului frigorific (6), acumulatorul cu frig natural și artificial (7), senzorii de temperatură a agentului frigorific (8), a mediului (9) și a laptelui (10), blocul de pulverizare (11) și blocul de comandă (12).

În continuare descriem pe scurt modul de funcționare al instalației. În perioada rece a anului, când temperatura agentului frigorific este suficientă pentru răcirea laptelui, acumulatorul se conectează succesiv în conturul de răcire (Fig. 3, Fig. 4 a). Agentul frigorific din acumulatorul de frig (7) este direcționat, cu ajutorul pompei (6), în schimbătorul de căldură (5), unde răcește laptele, iar apoi nimerește din nou în acumulator prin blocul de pulverizare (11). Dacă temperatura agentului frigorific în acumulator crește și depășește temperatura necesară pentru răcirea laptelui, la semnalul senzorului de temperatură a agentului frigorific (8) se conectează compresorul instalației frigorifice reîncărcabile (1) și agentul frigorific este direcționat în evaporatorul (3), răcind agentul frigorific până la temperatura necesară. În regim de acumulare a frigului natural (la temperatura aerului atmosferic mai joasă de 4°C), compresorul instalației frigorifice reîncărcabile (1) nu funcționează. Acumularea frigului natural are loc din contul temperaturii joase a aerului atmosferic.

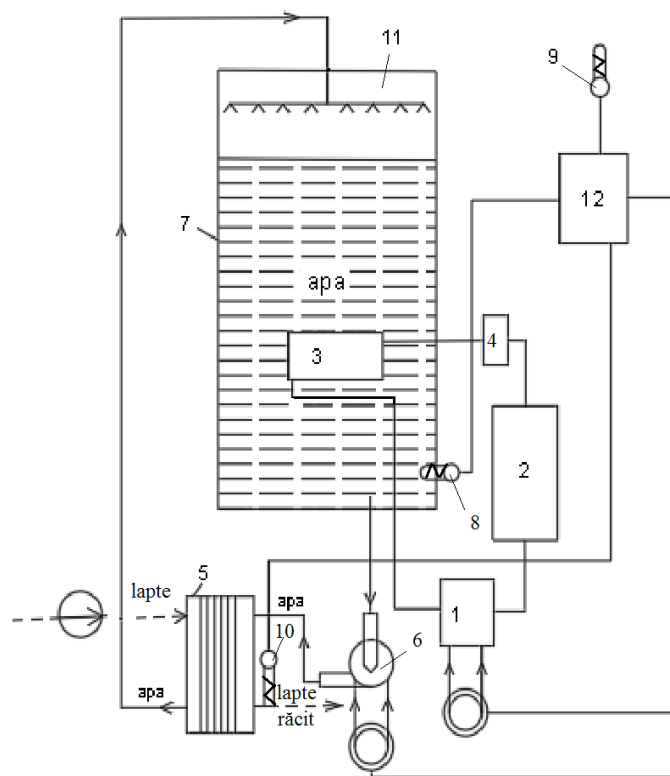


Figura 3. Schema funcțional-structurală a instalației frigorifice cu consum redus de energie electrică pentru răcirea laptelui cu utilizarea frigului natural și artificial

Evaporatorul instalației frigorifice reîncărcabile (3) poate fi amplasat în afara acumulatorului, într-un rezervor în flux special. În acest caz, agentul frigorific este direcționat în acumulator deja în stare răcită.

În perioada caldă a anului și în perioada de tranziție are loc acumularea frigului natural. Acumulatorul cu frig trebuie să fie izolat termic (Fig. 4(b)). Evaporatorul (3), plasat în acumulator, este unit cu compresorul (1), care presează vaporii agentului frigorific, îi transmite în condensator (2), iar de acolo, prin comutatorul termostatic (4), agentul frigorific în stare lichidă nimereste în evaporator.

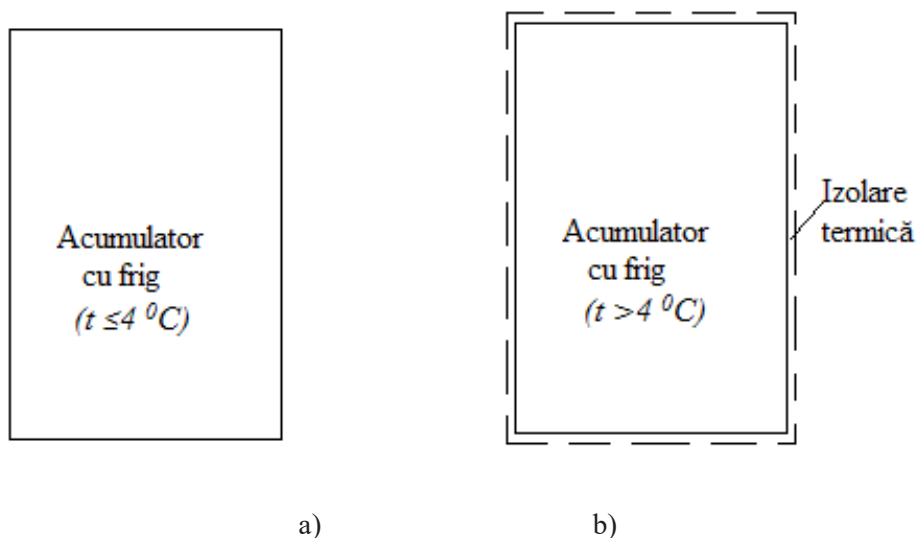


Figura 4. Acumulator cu frig pentru $t \leq 4 \text{ }^{\circ}\text{C}$ (a) și pentru $t > 4 \text{ }^{\circ}\text{C}$ (b)

În perioada când temperatura aerului e mai mare de 4 °C, pentru răcirea laptelui se folosește acumulatorul cu frig fără utilizarea instalației frigorifice (compresorul 1).

Aceste temperaturi sunt fixate de tractoarele (8), (9) și (10).

Parametrii de control sunt:

- temperatura apei în acumulatorul de frig;
- temperatura aerului atmosferic;
- temperatura laptelui răcit.

Pentru temperaturile aerului atmosferic mai joase de 2°C nu este necesar de utilizat pulverizatorul. Acesta se folosește doar la temperaturi cuprinse între 2 și 4°C. Trecerea apei prin blocul de pulverizare (11) permite prelungirea duratei de utilizare a instalației frigorifice cu frig natural de la 16 până la 59 de zile pe an (tabelul 1).

Tabelul 1. Numărul de zile cu $t \leq 2^{\circ}\text{C}$ și cu $t \leq 4^{\circ}\text{C}$ și diferența lor pe perioada 2015-2019

Anul	Numărul de zile		
	$t \leq 2^{\circ}\text{C}$	$t \leq 4^{\circ}\text{C}$	Diferența
2015	29I+22F+23M+7A+5O+10N+25D	31I+28F+31M+17A+17O+20N+30D	2I+6F+8M+10A+12O+10N+5D
Total	121	174	53
2016	31I+23F+17M+1A+20O+24N+28D	31I+26F+28M+7A+23O+28N+29D	3F+11M+6A+3O+4N+1D
Total	144	172	28
2017	31I+25F+12M+5A+2O+12N+26D	31I+28F+29M+20A+11O+24N+29D	3F+17M+15A+9O+12N+3D
Total	113	172	59
2018	27I+27F+23M+1A+0O+19N+31D	31I+28F+24M+3A+6O+21N+31D	4I+1F+1M+2A+6O+2N+
Total	128	144	16
2019	31I+24F+15M+4A+2O+12N+24D	31I+28F+24M+10A+5O+15N+29D	4F+9M+6A+3O+3N+5D
Total	112	142	30

Notă: I-Ianuarie; F-Februarie; M-Martie; A-Aprilie;

O-Octombrie; N-Noiembrie; D-Decembrie

Având în vedere temperaturile înregistrate în zona centrală a Republicii Moldova, instalația cu frig natural ar putea fi utilizată pentru răcirea laptelui chiar și în lunile octombrie și aprilie (Fig. 5), durata de răcire a apei constituind câteva ore (de la 4 până la 13 ore pentru $t \leq 4^{\circ}\text{C}$).

Experimental s-a stabilit că valorile *de facto* ale temperaturii aerului atmosferic (înregistrate la complexul didactico-experimental al UASM) sunt cu 1-2 °C mai mici decât cele înregistrate la Centrul meteorologic al mun. Chișinău (Fig. 5).

În continuare sunt prezentate grafurile automate și algoritmi de funcționare a instalației frigorifice cu utilizarea frigului natural și artificial (Fig. 6 și 7).

Algoritmul de funcționare a instalației frigorifice elaborat în baza grafului automat prezentat în figura 6 poate fi redat astfel:

$$Y_1 = (x_8 \cdot x_9 + H_1) \cdot \bar{h} \cdot \bar{P}a_1 \cdot \bar{P}a_2 \cdot M_1$$

Algoritmul de funcționare a pompei de apă M_6 elaborat în baza grafului automat din figura 7 are forma:

$$Y_6 = (Ym_{13} + H_6) \cdot \bar{h}_6 \cdot \bar{P}a_1 \cdot \bar{P}a_2 \cdot M_6$$

În baza algoritmilor de funcționare a pompei de apă (6) și a instalației frigorifice (compresorul (1)) se poate elabora schema electrică principală de dirijare a acumulatorului cu frig natural și artificial.

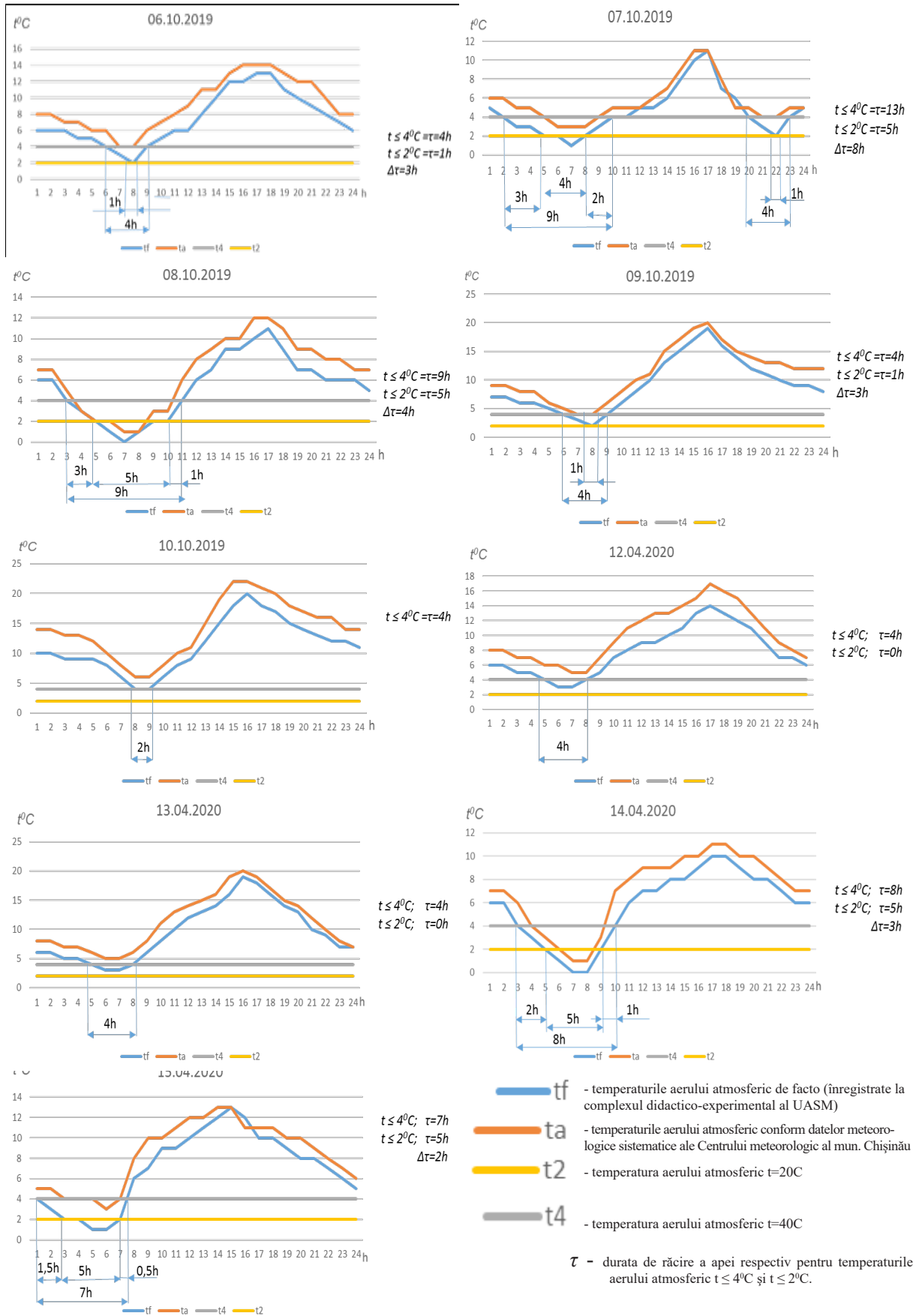
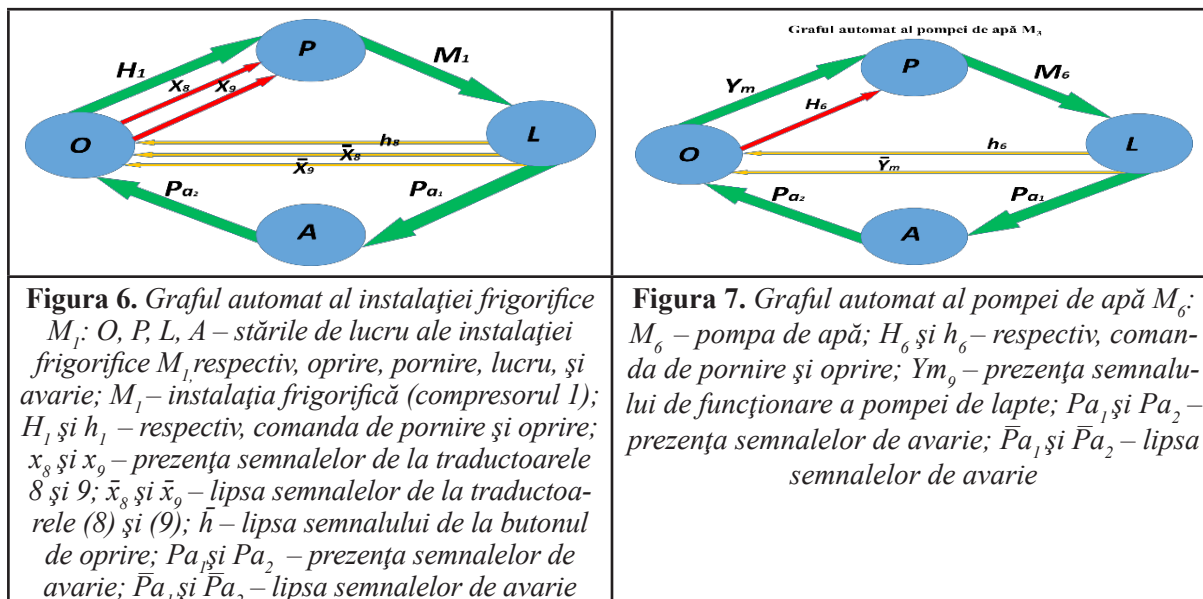


Figura 5. Temperaturile aerului atmosferic pe durata a 24h (pe exemul lunilor octombrie 2019 și aprilie 2020)



Argumentarea algoritmilor de funcționare în procesul de răcire a laptelui a făcut posibilă fundamentarea parametrilor sistemului de răcire și stabilirea unei legături între principalii parametri ai echipamentelor tehnice de prelucrare a laptelui și temperatura aerului atmosferic. Aplicarea acestor cunoștințe favorizează minimizarea costurilor de energie și utilizarea optimă a capacității de stocare a acumulatorilor cu frig natural și artificial.

CONCLUZII

Instalația automatizată cu frig natural și artificial a fost elaborată și implementată la complexul didactico-experimental al Universității Agrare de Stat din Moldova (UASM), cu selectarea parametrilor de control la răcirea laptelui și a apei în acumulator.

Au fost elaborate schema funcțional-structurală, grafurile automate și algoritmii de funcționare a receptorului-acumulator cu frig natural și artificial pentru răcirea laptelui cu consum redus de energie electrică.

Avantajele utilizării acumulatorilor cu frig împreună cu instalațiile frigorifice sunt: reducerea consumului de energie electrică; asigurarea unei fiabilități înalte a sistemelor de răcire, datorită rezervei de frig acumulate în instalația cu frig natural; întreținerea și reparația mai ușoare; posibilitatea folosirii tarifului nocturn pentru energia electrică, cu 40% mai ieftin; îmbunătățirea situației ecologice prin reducerea volumului de freon și de uleiuri freonice, deoarece în perioada rece a anului instalația cu frig natural nu necesită utilizarea freonului în calitate de agent frigorific.

S-a stabilit că:








- consumul specific de energie electrică pentru răcirea laptelui la utilizarea instalației propuse constituie 0,3 kW h/t în perioada rece a anului, față de 30-35 kW h/t la utilizarea instalațiilor frigorifice tipice;
- utilizarea acumulatorului cu apă și în perioada caldă a anului (pentru $t > 4$ °C) pentru răcirea apei de la instalația frigorifică permite reducerea puterii electrice a instalației frigorifice de circa 1,6-1,7 ori;
- răcirea apei în acumulator în afara orelor de vârf ale consumului de energie electrică, conform Agenției Naționale pentru Reglementare în Energetică a Republicii Moldova (ANRE), permite reducerea plății pentru consumul de energie electrică cu 40 %;
- pulverizarea apei în instalația cu frig natural permite prelungirea duratei de utilizare de la 16 până la 59 de zile pe an pentru Centrul Republicii Moldova.

REFERINȚE BIBLIOGRAFICE

1. DAICU, A., SLIPENCHI, V., VOLCONOVICI, O., CHIRSANOVA, A., VOLCONOVICI, I., CUȘNIR, N. (2019). Contribuții la elaborarea mijloacelor tehnice de automatizare a proceselor de conservare a alimentelor cu utilizarea frigului natural. In: Știința Agricolă, nr. 2, pp. 95-102. ISSN 1857-0003.
2. VOLCONOVICI, Liviu, CREȚU, Victor, VOLCONOVICI, A., ZVONKII, Vitalie, CUȘNIR, M. (2011a). Mathematical model of the ecological system with electricity consumption for milk cooling in the Republic of

- Moldova. In: Proceedings of the 8-th International Conference on electromechanical and power system (SIELMEN), Chișinău, 14 octombrie 2011.
3. VOLCONOVICI, Liviu, CREȚU, Victor, VOLCONOVICI, A., ZVONKII, Vitalie, CUȘNIR, M. (2011b). Experimental researches of the ecological system for cooling of milk with low energy consumption. In: Proceedings of the 8-th International Conference on electromechanical and power system (SIELMEN), Chișinău, 14 octombrie 2011.
 4. VOLCONOVICI, A. (2009). Utilizarea tehnicii pentru conservarea alimentelor utilizând frigul natural. Chișinău : Editura Tehnica Info. 186 p. ISBN: 978-9975-63-278-2.
 5. ВОЛКОНОВИЧ, Л., СЫРГИ, К. (2002). Энергосберегающие, экологические системы естественного холода для хранения пищевых продуктов. Кишинев. 334 с. ISBN 9975-62-078-7.
 6. КУШНИР, М. (2015). Выбор и обоснование оптимальных параметров и режимов работы, автоматизированных энергосберегающих технологических систем охлаждения молока. In: Lucrări științifice, UASM, vol. 45: Inginerie agrară și transport auto, p. 437. ISBN 978-9975-64-276-7.
 7. ЛАВРОВ, В. А. (2006). Электротехническая система охлаждения молока на фермах с использованием природного холода: Автореф. дисс. на соискание ученой степени канд. техн. Наук. Москва.
 8. ЛЕСЮК, Е. А. (1999). Исследование процессов в аккумуляторах холода с теплопроводящей насадкой и разработка расчетных методов их оптимизации : Дис. ... канд. техн. наук : 01.04.09 Москва.
 9. МУСИН, А., МАРЬЯХИН, Ф., УЧЕВАТКИН, А. (2006). Структура системы электрооборудования технологических линий обработки молока. В: НТБ ВИ-ЭСХ, вып. 2(54), с. 3-11.
 10. УЧЕВАТКИН, А. (2008). Минимизация и оптимизация алгоритмов управления холодильных установок технологических линий для обработки молока. В: Проблемы электрификации, автоматизации и теплоснабжения с.-х. производства: тез. докл. Всесоюз. научн. конф., 25-27 ноября 2008, с. 109-110.
 11. ШИЛИН, В.А., ГЕРАСИМОВА, О.А., ЛОБАЧЕВ, А.В. (2012). Охлаждение молока на фермерских хозяйствах с применением естественного холода. В: Научное обеспечение развития АПК в условиях реформирования. Санкт-Петербург, с. 303-305.

INFORMAȚII DESPRE AUTORI

- DAICU Anatolie***  <https://orcid.org/0000-0002-9968-8444>
doctorand, Școala doctorală a Parteneriatului instituțiilor din învățământ și cercetare din agricultură, Universitatea Agrară de Stat din Moldova
E-mail: anatoldaicu@gmail.com
- SCRIPNIC Elena**  <https://orcid.org/0000-0002-6813-6102>
doctor în științe agricole, conferențiar universitar, Facultatea Agronomie, Universitatea Agrară de Stat din Moldova
E-mail: e.scripnic@uasm.md
- VOLCONOVICI Augustin**  <https://orcid.org/0000-0002-0346-5423>
doctorand, Școala doctorală a Parteneriatului instituțiilor din învățământ și cercetare din agricultură, Universitatea Agrară de Stat din Moldova
E-mail: augustin.volk@gmail.com
- CHIRSANOVA Ala**  <https://orcid.org/0000-0001-6541-5678>
doctor în științe, Universitatea Agrară de Stat din Moldova
E-mail: avki@mail.ru
- VOLCONOVICI Onorin**  <https://orcid.org/0000-0003-1623-2028>
doctorand, Școala doctorală a Parteneriatului instituțiilor din învățământ și cercetare din agricultură, Universitatea Agrară de Stat din Moldova
E-mail: onorin.volconovici@gmail.com
- SLIPENCHI Victorin**  <https://orcid.org/0000-0003-2253-5324>
doctorand, Școala doctorală a Parteneriatului instituțiilor din învățământ și cercetare din agricultură, Universitatea Agrară de Stat din Moldova
E-mail: slipenchivictorin@mail.ru
- VOLCONOVICI Ina**  <https://orcid.org/0000-0002-4907-7944>
doctorand, Școala doctorală a Parteneriatului instituțiilor din învățământ și cercetare din agricultură, Universitatea Agrară de Stat din Moldova
E-mail: globa.ina95@gmail.com

*Corresponding author: anatoldaicu@gmail.com

Data prezentării articolului: 30.03.2020

Data acceptării articolului: 05.05.2020