

SISTEM HIBRID PENTRU PĂSTRAREA PRODUSELOR AGROALIMENTARE **HYBRID SYSTEM FOR PRESERVING AGRI-FOOD PRODUCTS**

CZU: 631.371:621.31:637.117

<https://doi.org/10.56329/1810-7087.23.2.15>

CONF. UNIV.DR. VICTOR POPESCU,
DEPARTAMENTUL INGINERIE ELECTRICĂ,
[HTTPS://ORCID.ORG/0000-0002-4634-2255](https://orcid.org/0000-0002-4634-2255)

DRD. NICOLAI URSATII,
DEPARTAMENTUL INGINERIA FABRICAȚIEI,
[HTTPS://ORCID.ORG/0000-0002-5264-6976](https://orcid.org/0000-0002-5264-6976)

DRD. IGOR GÎDEI,
DEPARTAMENTUL INGINERIE MECANICĂ,
[HTTPS://ORCID.ORG/0000-0001-6188-942X](https://orcid.org/0000-0001-6188-942X)

CONF. UNIV. DR. NATALIA ȚISLINSKAIA,
DEPARTAMENTUL INGINERIE MECANICĂ,
[HTTPS://ORCID.ORG/0000-0003-3126-5792](https://orcid.org/0000-0003-3126-5792)

CONF. UNIV. DR. RUSLAN TĂRNĂ,
DEPARTAMENTUL INGINERIE MECANICĂ,
[HTTPS://ORCID.ORG/0000-0001-5488-7506](https://orcid.org/0000-0001-5488-7506)

DRD. ION VIȘANU,
DEPARTAMENTUL INGINERIA FABRICAȚIEI,
[HTTPS://ORCID.ORG/0000-0009-4475-0077](https://orcid.org/0000-0009-4475-0077)

DRD. TATIANA BALAN,
DEPARTAMENTUL INGINERIE ELECTRICĂ,
[HTTPS://ORCID.ORG/0000-0002-8897-105X](https://orcid.org/0000-0002-8897-105X)

DRD. TATIANA TODIRAȘ,
DEPARTAMENTUL INGINERIE ELECTRICĂ,
[HTTPS://ORCID.ORG/0009-0004-6695-4808](https://orcid.org/0009-0004-6695-4808)

UNIVERSITATEA TEHNICĂ A MOLDOVEI

ABSTRACT

This article presents an experimental refrigeration plant equipped with a hybrid cooling system, which was developed at the Technical University of Moldova as a result of the cooperation of researchers from the Electrical Engineering, Mechanical Engineering and Production Engineering Departments to study the cooling process of various agricultural products. All stages of conception, design, development of the refrigeration plant were carried out in laboratory conditions, and field tests were carried out both in laboratory and real conditions, within the framework of specialized enterprises in this field,

to evaluate the effectiveness in relation to the practical application of the developed plant. The results of multiple series of experiments have shown that the use of the proposed plant significantly reduces electric energy consumption and environmental impact.

Keywords: *refrigeration plant; energy efficiency; hybrid system; agri-food sector.*

REZUMAT

În acest articol este prezentată o instalație frigorifică experimentală, dotată cu un sistem de răcire hibrid, care a fost elaborată în cadrul Universității Tehnice a Moldovei, ca rezultat al colaborării cercetătorilor din cadrul Departamentelor Inginerie Electrică, Inginerie Mecanică și Ingineria Fabricației, pentru cercetarea procesului de răcire a diferitor produse agricole. Toate etapele de concepere, proiectare, elaborare a instalației de răcire au fost realizate în condiții de laborator, iar testarea în funcționare a fost realizată atât în condiții de laborator, cât și în condiții reale, în cadrul unor întreprinderi specializate din domeniu, pentru a estima eficiența privind aplicarea în practică a instalației elaborate. Rezultatele multiplelor serii de experimente au demonstrat că utilizarea instalației propuse reduce semnificativ consumul de energie electrică și impactul asupra mediului înconjurător.

Cuvinte-cheie: *instalație frigorifică; eficiență energetică; sistem hibrid; sector agroalimentar.*

Introducere

Majorarea prețurilor la resursele energetice din ultima perioadă impune stringent reducerea consumului de energie electrică prin diferite metode în toate domeniile, inclusiv în sectorul agroindustrial.

Instalațiile frigorifice reprezintă un consumator esențial de energie electrică în industria produselor agricole. Una dintre măsurile principale în rezolvarea problemei reducerii consumului de energie electrică este perfecționarea instalațiilor frigorifice existente [4].

Actualmente, în procesul de răcire a laptelui la punctele de colectare sunt utilizate pe scară largă instalațiile frigorifice cu frig artificial, care au un consum semnificativ de energie electrică și reprezintă un poluant cu impact major asupra mediului înconjurător din cauza folosirii în calitate de agent frigorific a freonului [6]. Prin urmare, pentru dezvoltarea și implementarea măsurilor de sporire a eficienței energetice este necesar să se efectueze un studiu amănunțit privind optimizarea parametrilor constructivi, tehnologici și energetici ai instalațiilor frigorifice [1,2,10,11].

Condițiile climatice ale regiunii unde funcționează instalațiile frigorifice au o importanță majoră

în ceea ce privește sporirea eficienței energetice a instalației frigorifice, cu costuri cât mai reduse. Conform studiilor efectuate în sezonul rece al anului, în Republica Moldova se poate spori semnificativ eficiența energetică a instalațiilor frigorifice existente prin implementarea frigului natural [2].

Astfel, în această lucrare a fost realizat un studiu cu privire la argumentarea unei instalații frigorifice hibride, care combină frigul natural cu cel artificial, iar confirmarea eficienței aplicării în practică a instalației elaborate a fost realizată în baza cercetărilor experimentale efectuate la întreprinderi specializate din domeniu.

Materiale și metode de cercetare

Toate etapele de concepere, proiectare și elaborare a instalației de răcire au fost realizate în condiții de laborator, iar testarea în funcționare a fost realizată atât în condiții de laborator, cât și în condiții reale, în cadrul unor întreprinderi specializate din domeniu.

Instalația experimentală elaborată are la bază un sistem frigorific hibrid, care combină frigul natural cu cel artificial.

Parametrii de bază ai componentelor utilizate la elaborarea instalației sunt: puterea instalată

a compresorului de pompare a frigului artificial egală cu 3,0 kW; volumul vasului capacitiv de răcire – 700 de litri; puterea pompei agentului frigorific intermediar de Tip GRS 15/6, care are trei trepte de funcționare, în funcție de productivitatea necesară, și este de 0,093 kW pentru 3,0 m³/h, 0,06 kW pentru 1,9 m³/h și de 0,04 kW pentru 1,2 m³/h; puterea motorului ventilatorului – 0,18 kW; volumul acumulatorului de frig – 2200 de litri.

Cercetările au fost realizate pe parcursul anilor 2020-2022, iar rezultatele prezentate în lucrare au fost obținute pentru diferite temperaturi ale mediului înconjurător.

Rezultate și discuții

Sistemul frigorific prezentat în Fig. 1 este compus din răcitorul capacitiv și instalația cu frig artificial, care a fost suplinită cu frigul natural, utilizând pompa de apă (agent frigorific intermediar – AFI), care, în funcție de regimul de lucru, cu ajutorul ventilelor, direcționează apa din acumulatorul de frig în instalația frigorifică cu frig artificial sau în răcitorul în flux în funcție de temperatura atmosferică, sau în răcitorul capacitiv, fiind utilizată în calitate de agent frigorific pentru răcirea produsului.

Regimurile de răcire pentru agentul frigorific intermediar depind de temperaturile aerului atmosferic [2,9], și anume:

- regimul de răcire cu frig artificial, când temperatura atmosferică are valori > 6°C;

- regimul de răcire cu frig natural combinat cu frig artificial, când temperatura atmosferică are valori cuprinse între 4 și 6°C;

- regimul de răcire cu frig natural, când temperatura atmosferică are valori sub 4°C.

Regimul de răcire a produsului este prevăzut pentru întregul an, utilizând agentul frigorific intermediar din acumulatorul de frig, în care se acumulează frigul din regimurile menționate mai sus.

Pentru estimarea consumului de energie electrică pentru fiecare regim în parte, a fost efectuată analiza fluxurilor de energie electrică, care au la bază ecuația bilanțului energetic [7,8]:

$$\sum W = \sum W_c + \sum W_p, \quad (1)$$

unde W – energia electrică totală consumată din rețeaua de distribuție;

W_c – energia electrică consumată de echipamentele instalației frigorifice;

W_p – pierderile de energie electrică.

Energia electrică consumată de echipamentele instalației frigorifice se determină (kWh):

$$W_c = P_1 \cdot \eta \cdot T_f \quad (2)$$

Iar pierderile de energie cu relația (kWh):

$$W_p = (P_1 - P_1 \cdot \eta) \cdot T_f = \Delta P \cdot T_f, \quad (3)$$

unde P_1 – puterea nominală de intrare a echipamentului (kW);

η – randamentul echipamentului electric (%)

T_f – timpul de funcționare a echipamentului (h), care depinde de regimul de funcționare.

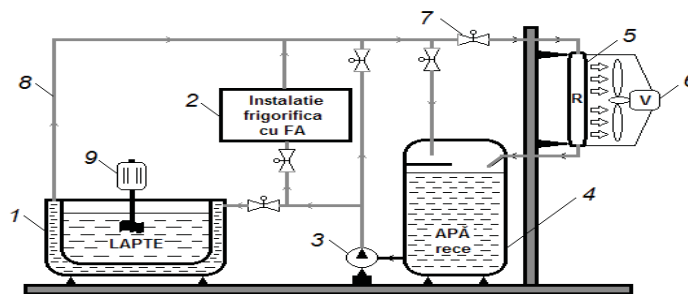


Fig. 1. Schema bloc a sistemului frigorific: 1 – răcitor capacitiv, 2 – instalație frigorifică cu frig artificial, 3 – pompă, 4 – acumulator de frig, 5 – răcitor în flux, 6 – ventilator, 7 – ventil cu acționare electrică, 8 – conductă de agent frigorific, 9 – agitatorul de produs

Sursa: Elaborată de autori

Pentru stabilirea schemelor fluxurilor energetice (Fig. 2) și elaborarea calculului, au fost analizate echipamentele funcționale și timpul mediu de lucru pentru fiecare regim examinat:

- În procesul de răcire a agentului frigorific intermediar cu frig natural, sunt funcționale echipamentele: pompa (P) și ventilatorul (V), fiind dirijate de panoul de comandă (PC). Spre exemplu, timpul mediu de răcire a AFI, determinat în baza modelului matematic elaborat pentru instalația propusă, când temperatura atmosferică este de 2°C, cea inițială a AFI – de 14°C și cea finală – de 4°C, este de 6,1 ore;
- În procesul de răcire a agentului frigorific intermediar cu frig combinat, sunt funcționale echipamentele: motorul cu compresor (M), pompa (P) și ventilatorul (V), fiind dirijate de panoul de

comandă (PC). Timpul mediu de răcire a AFI determinat pe cale experimentală pentru instalația propusă, când temperatura atmosferică este de 4-6°C, cea inițială a AFI – de 14°C și cea finală – de 4°C, este de 3,5 ore;

- În procesul de răcire a agentului frigorific intermediar cu frig artificial, sunt funcționale echipamentele: motorul cu compresor (M) și pompa (P), dirijate de panoul de comandă (PC). Timpul de răcire a AFI, conform datelor tehnice ale instalației cu frig artificial, este de 4,5 ore;
- În procesul de răcire cu agent frigorific intermediar din acumulatorul de frig, sunt funcționale echipamentele: pompa (P) și agitatorul (A), dirijate de panoul de comandă (PC). Timpul de răcire a produsului de la temperatura de 19-20°C la cea de păstrare de 6°C este de maxim 2 ore.

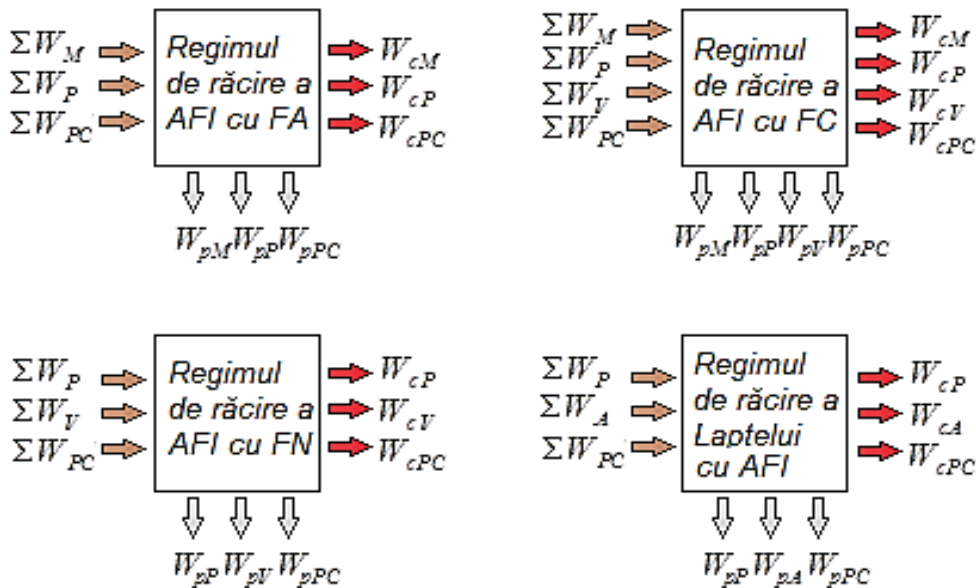


Fig. 2. Schemele fluxurilor de energie electrică în funcție de regimul de funcționare a instalației

Sursa: Elaborată de autori

În Tabelul 1 sunt prezentați parametrii nominali ai echipamentelor electrice funcționale și randamentul fiecăruia dintre aceștia, iar, în baza acestor parametri, utilizând relațiile de mai sus și cunoscând

timpul mediu de funcționare, se efectuează calculul consumului estimativ de energie electrică pentru fiecare regim de răcire a agentului frigorific intermediar (AFI) și a procesului de răcire a produsului.

Tabelul 1

Parametrii nominali ai componentelor instalației experimentale

Denumirea echipamentului electric	Puterea nominală P1, kW	Randamentul
Motorul compresorului	3,0	0,78
Pompa AFI, Tip GRS 15/6 (1.2-3.0 m3/h)	0,093	0,86
Ventilator cu motor АЛ12-4У	0,180	0,8
Agitator de lapte	0,08	0,65
Panoul de comandă	0,02	0,9

Sursa: Elaborat de autori

Calculile pentru estimarea consumului de energie electrică au fost efectuate pentru întreg procesul de răcire a produsului, începând de la determinarea consumului de energie pentru ră-

cirea agentului frigorific intermediar și finalizând cu răcirea produsului utilizând agentul frigorific din acumulatorul de frig. Rezultatele calculului sunt prezentate în Tabelul 2.

Tabelul 2

Consumul estimativ de energie electrică în procesul de răcire

Regimul de răcire	Consumul calculat de energie electrică pentru răcirea a 2.2 m ³ de AFI, kWh	Consumul calculat de energie electrică pentru răcirea a 700 litri de produs, kWh	Consumul estimativ de energie electrică pentru răcirea a 1000 litri de produs, kWh
Cu frig natural	1,8	2,2	3,2
Cu frig artificial	14,0	14,4	20,6
Hibrid	11,5	11,9	17,0

Sursa: Elaborat de autori

Analizând datele obținute privind consumul real de energie electrică în procesul de răcire a produselor în zona de nord a Republicii Moldova, cu instalațiile frigorifice clasice care au avut un consum mediu de 21 kWh, pentru răcirea a 1000 de litri de produs, s-a constatat că în perioada rece a anului utilizarea instalației propuse permite reducerea consumului de energie electrică de circa 6,4 ori, iar în perioada caldă a anului consumul de energie fiind redus nesemnificativ. Dacă vom analiza consumul de energie pe durata întregului an, cu numărul de zile cu temperaturi favorabile de aplicare a frigului natural (cuprins între 120 și 150 de zile), atunci consumul de energie electrică se reduce în medie cu peste 30%.

Totodată, utilizarea instalației cu acumulator de frig permite reducerea numărului de cicluri de conectare a compresorului, fapt ce duce la reducerea uzurii acestuia.

Pentru fundamentarea rezultatelor, au fost efectuate experimente utilizând instalația experimentală (Fig. 3) la un punct de colectare a laptelui din zona de nord a Republicii Moldova.



Fig. 3. Instalația frigorifică (Foto)

Sursa: Realizată de autori

Spre exemplu, în cazul laptelui, datele experimentale obținute în timpul cercetărilor, când temperatura aerului atmosferic a avut valori cuprinse între -4 și 3°C, arată că consumul specific de energie electrică pentru răcirea a o mie de litri de lapte

colectat este cuprins între 2,6 și 3,5 kWh, ceea ce confirmă rezultatele calculelor teoretice de mai sus, conform cărora consumul specific de energie electrică în perioada rece a anului este de 3,2 kWh pentru răcirea a 1000 de litri de produs.

Tabelul 3
Consumul de energie electrică în perioada rece a anului

Perioada de monitorizare	noiembrie	decembrie	ianuarie	februarie
Temperatura atmosferică, °C	3	2	0	1
Temperatura inițială a apei, °C	10	10	9	10
Durata de răcire a apei până la temperatura finală de 4°C	5,0	4,75	3,75	4,0
Volumul de produs colectat și răcit în 24 de ore, mii litri	0,49	0,53	0,51	0,53
Temperatura inițială a produsului colectat dimineața, după amestecarea cu produs colectat seara în ziua precedentă, °C	15	14	13	14
Temperatura inițială a produsului colectat seara, °C	20	20	19	19
Durata de răcire a produsului în două ture	1,4	1,5	1,5	1,5
Consumul zilnic de energie electrică, kWh	1,7	1,7	1,4	1,5
Consumul specific de energie electrică, kWh/1000 litri	3,5	3,2	2,7	2,8

Sursa: Elaborat de autori

Costul unei astfel de instalații este mult mai mic în comparație cu alte tipuri de instalații frigorifice, având și avantaje din punct de vedere ecologic datorită excluderii utilizării răcirii cu freon, care cauzează prejudicii semnificative mediului înconjurător, mai ales în cazul scurgerilor neprevăzute.

Concluzii

Implementarea unei instalații de răcire hibride contribuie semnificativ la reducerea consumului de energie electrică și aduce beneficii esențiale, micșorând îndeosebi sarcina sistemului centralizat de alimentare cu energie electrică și totodată a emisiilor de substanțe nocive în mediul înconjurător.

Datele experimentale obținute în perioada rece a anului, când temperatura atmosferică a variat între 1 și 3°C, au demonstrat că necesarul de energie electrică pentru răcirea a 1000 de litri de produs până la temperatura de păstrare de 6°C este cuprins între 2,6 și 3,5 kWh, ceea ce confirmă

rezultatele obținute în baza calculelor analitice, potrivit cărora consumul specific de energie electrică a instalației propuse pentru răcirea a 1000 de litri la temperatura atmosferică de 2°C este de 3,2 kWh.

REFERINȚE

1. URSATII, N., VOLCONOVICI, A. et al. Contribuții la îmbunătățirea parametrilor tehnico-economici ai instalațiilor frigorifice din punctele de colectare a laptelui. În: Știința agricolă, nr. 1. Chișinău, CE UASM 2021, p.p. 97-103. ISSN 1857-0003 / ISSN 2587-3202
2. DAICU, A. Argumentarea regimurilor de funcționare și a parametrilor constructivi - tehnologici ai instalației ecologice automatizate cu frig natural și artificial pentru răcirea laptelui. Teza de doct. în științe inginerești. Chișinău, 2020, 155 p.
3. URSATII, Nicolai, VOLCONOVICI, Ina. Măsurii pentru sporirea eficienței energetice a instalațiilor frigorifice agroalimentare. Tezele celei de-a 75-a conferință științifică a studenților, masteranzilor

și doctoranzilor. Chișinău CE UASM, 2022 p.137, ISBN 978-9975-64-336-8

4. UPTON, J., SHALLOO, L. Effect of electricity tariffs and cooling technologies on dairy farm electricity consumption, related costs and greenhouse gas emissions. Proceedings International Conference of Agricultural Engineering, Zurich, 2014. (accesat 12.03.2021). Disponibil: <https://core.ac.uk/download/pdf/29209355.pdf>

5. DESAI, D. et al. Application of Solar energy for sustainable Dairy Development. European Journal of Sustainable Development (2013), 2, 4, p.p. 131-140. ISSN: 2239-5938

6. KOZLOVTSEV, A., KOROVIN, G. Natural cold milk cooling system IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 666 (2019) 012070, IOP Publishing doi:10.1088/1757-899X/666/1/012070

7. ИВАНОВ, В. Повышение энергоэффективности оборудования для охлаждения молока с использованием природного холода. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Москва 2016. 164 с.

8. БРУЗДАЕВА, С., ГУДКОВА, Т. Энергосберегающая комбинированная установка для

охлаждения молока с использованием вторичных источников энергии. Ульяновск. материалы VIII Международной научно-практической конференции. 7-8 февраля 2017 г. - 2017, ч. 1., с. 54-57. (accesat 03.04.2022). Disponibil: <http://lib.ugsha.ru:8080/bitstream/123456789/11297/1/2017-01-54-57.pdf>

9. КОЗЮКОВ, Д. Параметры и режимы работы фотоэлектрических установок для фермерских рыбоводных хозяйств. Диссертация. Краснодар, «Кубанский Государственный Аграрный Университет Имени И. Т. Трубилина», 2017. 137 с.

10. POPESCU, V. Systeme fiable pour la transformation des produits d'origine agricole. Intellectus, 2016, nr. 1, pp. 94-97

11. POPESCU, V., VOLCONOVICI, O., MALAI, C. Эффективная установка для больших домашних хозяйств. Матеріали II Міжнародної науково-практичної Інтернет-конференції «ІННОВАЦІЇ: теорія і практика». Кропивницький: Академія Прикладних наук. 2021, р. 26-28, УДК 66.047, 621, 631, 656, 658, 330, 351. 2021. – 84 с.