

DOI: 10.5281/zenodo.5075661

CZU: 621.565

CONTRIBUȚII LA ÎMBUNĂTĂȚIREA PARAMETRILOR TEHNICO-ECONOMICI AI INSTALAȚIILOR FRIGORIFICE DIN PUNCTELE DE COLECTARE A LAPTELUI

Nicolai URSATH, Augustin VOLCONOVICI, Alla CHIRSANOVA, Onorin VOLCONOVICI, Victorin SLIPENCHI, Ina VOLCONOVICI

Abstract. The aim of the study is to reduce electricity consumption in rural milk collection points from the population. The paper presented a study on milk cooling refrigeration installations used at milk collection points in the Republic of Moldova. The design of the installation and the ratio of its electricity consumption nodes were analyzed. In order to reduce energy consumption, solutions have been proposed to improve the constructive-technological parameters of the electric motors in the refrigeration installations for milk cooling. It was proposed to modernize the asynchronous motors by placing permanent magnets on the rotors, which will increase the efficiency and the power factor of the motor, therefore reducing the consumption of active and reactive energy in the electrical network.

Key words: Milk; Cooling; Refrigeration installation; Electric motor; Permanent magnets; Electricity; Low consumption.

Rezumat. Scopul studiului este de a contribui la reducerea consumului de energie electrică la punctele rurale de colectare a laptelui de la populație. În lucrare sunt analizate instalațiile frigorifice de răcire a laptelui folosite la punctele de colectare a laptelui pe teritoriul Republicii Moldova. A fost descrisă construcția instalației și raportul nodurilor de consum al energiei electrice ale acesteia. Pentru reducerea consumului de energie s-au propus soluții de îmbunătățire a parametrilor tehnologici de construcție a motoarelor electrice din instalațiile frigorifice de răcire a laptelui. Se recomandă modernizarea motoarelor asincrone prin plasarea pe rotoare a magneților permanenți, ceea ce va permite majorarea randamentului și a factorului de putere a motorului și va avea drept consecință reducerea consumului de energie activă și reactivă din rețeaua electrică.

Cuvinte-cheie: Lapte; Răcire; Instalație frigorifică; Motor electric; Magneți permanenți; Energie electrică; Consum redus.

INTRODUCERE

Reforma agriculturii din anii 90 ai secolului trecut a dus la distrugerea multor ferme mari de bovine din localitățile rurale ale Republicii Moldova. Drept urmare a scăzut simțitor producția de lactate la nivel național. Ulterior, întreprinderile de produse lactate autohtone au deschis puncte de colectare a laptelui de la populația rurală. Punctele de colectare au fost dotate cu instalații frigorifice de răcire a laptelui cu capacitatea medie de 1500 litri. În aceste puncte, produsul de lapte colectat se păstrează de la 3 la 12 ore, în funcție de graficul transportului de colectare și de volumul de lapte colectat într-o tură.

Durata de păstrare a laptelui la punctul de colectare depinde direct de numărul de gospodării și volumul de lapte pe care acestea îl transmit spre prelucrare. De menționat că, în majoritatea satelor, numărul de crescători de bovine este în descreștere, iar odată cu acesta scade și volumul de lapte. Colectarea se efectuează în două ture, seara și dimineața, după care laptele este transportat la fabrica de prelucrare, acest lucru ducând la majorarea timpului de păstrare a laptelui la punctul de colectare.

Una dintre primele întreprinderi de produse lactate din Republica Moldova care a început să colecteze laptele de la populație prin punctele de colectare amplasate în localitățile rurale este S.A. „Incomlac”, parte a grupului JLC. La moment, baza materiei prime a întreprinderii o constituie produsele colectate la cele 210 puncte de colectare din 14 raioane din nordul republicii, dotate cu instalații de răcire a laptelui. Furnizori ai materiei prime sunt peste 15 mii de gospodării individuale care predau laptele la punctele de colectare, dar și 13 gospodării agricole și 6 agenți economici specializați în domeniul de producere a laptelui („INCOMLAC” S.A., 2021).

Actualmente, costul produsului lactat final este relativ mare, acesta formându-se în baza tuturor cheltuielilor, începând de la obținerea, colectarea, transportarea, prelucrarea, împachetarea și până la punerea pe rafturile de comercializare a acestuia. De aceea specialiștii caută soluții de reducere a costurilor la fiecare etapă a procesului de producere (Daicu, A., Scripnic, E. et al. 2020). În lucrare se propun soluții de reducere a consumului de energie electrică al instalațiile frigorifice la etapa de colectare a laptelui.

Sursa principală de consum al energiei electrice în instalațiile frigorifice de răcire a laptelui este motorul electric asincron al compresorului frigorific. Utilizarea magneților permanenți în construcția mașinilor electrice este tot mai vastă, ceea ce se explică prin faptul că tehnologia producerii magneților permanenți s-a ridicat la o nouă etapă de producere, iar parametrii mecanici, termici și magnetici ai acestora s-au îmbunătățit

esențial (Ambros, T. 2008). În lucrare se propun soluții de reducere a energiei electrice bazate pe modificarea construcției rotoarelor motoarelor electrice asincrone și anume prin implementarea magneților permanenți.

MATERIALE ȘI METODE

Studiul s-a efectuat în baza analizei situației actuale de la punctele de colectare a laptelui de pe teritoriul Republicii Moldova. Conform Hotărârii Guvernului nr. 435/2010 privind aprobarea Regulilor specifice de igienă a produselor alimentare de origine animală, punctele de colectare a laptelui trebuie să dețină instalații frigorifice care să permită depozitarea și răcirea laptelui imediat după muls până la o temperatură nu mai mare de 8°C, în cazul colectării zilnice, sau nu mai mare de 6°, dacă laptele nu este colectat zilnic.

Au fost analizate materialele bibliografice științifice din domeniul mașinilor electrice asincrone și al mașinilor sincrone cu magneți permanenți.

S-au colectat informații referitoare la consumul de energie electrică la unul din punctele de colectare din nordul țării pentru anul 2020. S-a stabilit care este consumul de energie pentru fiecare receptor electric din incinta punctului de colectare. S-au analizat posibilitățile reale de a micșora consumul de energie prin optimizarea construcției mașinii electrice, care este principalul consumator de energie în instalația frigorifică de păstrare și răcire a laptelui.

REZULTATE ȘI DISCUȚII

Pentru a gestiona eficient procesul de colectare a laptelui este important să deținem informația completă și corectă în ceea ce privește parametrii controlabili și reglabili ai instalațiilor frigorifice de răcire a laptelui, care caracterizează procesul tehnologic (Volconovici, L., Chiorsac, M. et al. 2007). Această informație necesită analiza complexă a stării sistemului energetic la punctele de colectare.

La baza fabricării produselor lactate cu preț competitiv pe piață stă menținerea calității ridicate a laptelui, de la obținere și colectare până la transportarea acestuia la fabrica de procesare, cu costuri cât mai reduse (Cușnir, M., Volconovici, L. 2018). Pentru îndeplinirea acestor condiții, la punctele de colectare sunt folosite diverse instalații frigorifice de răcire a laptelui până la temperaturi optime pentru transportare, după care laptele este pompat în cisterne auto speciale, care mențin temperatura timp îndelungat, și transportat pentru prelucrare la fabricile de procesare.

Punctele de colectare a laptelui reprezintă încăperi dotate cu utilaj corespunzător la nivel tehnic și sanitar, care asigură procesul de recepție, răcire, păstrare și livrare a laptelui, cu respectarea tuturor cerințelor de igienă.

Conform datelor Agenției Naționale pentru Siguranța Alimentelor (ANSA), actualmente sunt eliberate 669 de autorizații de funcționare a punctelor de colectare a laptelui pe întreg teritoriul Republicii Moldova (ANSP, 2017). Din numărul total de puncte de colectare, 562 sunt în regiunea de nord a țării (84%). Dintre acestea, mai mult de o treime aparțin întreprinderii SA „Incomlac”.

Informația privind amplasarea teritorială a punctelor de colectare a laptelui, privind numărul lor și companiile de prelucrare care le dețin este prezentată în tabelul nr. 1.

Tabelul 1. *Repartizarea punctelor de colectare a laptelui de pe teritoriul Republicii Moldova după întreprinderile de colectare*

Denumirea companiei de colectare	Regiunea de colectare a laptelui	Nr. de puncte de colectare
SA „Incomlac”	Regiunea de Nord	210
SA „Lactis”	Regiunea de Nord	57
SA „Fabrica de brinzeturi din Soroca”	Regiunea de Nord	53
SA „JLC”	Regiunea Centru-Sud	52
SA „Fabrica de unt din Floresti”	Regiunea de Nord	36
SRL „Promicom”	Regiunea de Nord	36
ICS „LAPMOL SRL”	Regiunea Centru	30
SA „Inlac”	Regiunea de Nord	23
SRL „Bair Agro”	Regiunea de Nord	24
SRL „Comolco”	Regiunea de Nord	9
SRL „Ascoli”	Regiunea de Nord	9
SRL „VC Saturn-13”	Regiunea Centru	8
SRL „Tavlada-com”	Regiunea de Nord	6
Companii mici, de diferite forme juridice, care au până la 5 puncte de colectare	Toate regiunile tarii	116
TOTAL		669

Studiul asupra consumului de energie electrică s-a efectuat la unul din punctele de colectare a laptelui din raionul Edineț, care aparține întreprinderii SA „Incomlac”.

Datele de consum al energiei electrice pentru fiecare lună a anului 2020 s-au colectat în baza facturilor emise lunar de furnizorul de energie electrică din regiune, iar datele privind volumul lunar de lapte colectat la punctul respectiv au fost prezentate de administratorul acestuia, care se ocupă nemijlocit de colectarea, păstrarea și pomparea laptelui în cisternele de transportare.

Informațiile obținute sunt prezentate în tabelul nr. 2.

Tabelul 2. Consumul de energie electrică și volumul de lapte colectat pentru 2020

Denumire	Luna												TOTAL 2020
	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	
Consum energie (E), kW*h	314	624	715	435	560	623	716	683	473	584	627	473	6827
Volum lapte, litri	10013	22464	27170	14355	22400	26789	32220	30052	18920	21024	23826	15136	264369

În baza datelor obținute s-a calculat consumul mediu de energie electrică pentru o zi (E_1) și volumul mediu de lapte colectat într-o zi în anul 2020 ($V_{m.lapte}$), prin formulele:

$$E_1 = E/366 = 6827/366 = 18,65 \text{ (kW} \cdot \text{h)} \quad \{1\}$$

$$V_{m.lapte} = V_{total}/366 = 264369/366 = 722,3 \text{ (litri)} \quad \{2\}$$

unde 366 – numărul de zile ale anului 2020.

Punctul de colectare studiat este dotat cu o instalație frigorifică de model UES-1600, de marca franceză Japy, cu capacitatea de răcire de 1600 litri, având proprietăți de răcire a laptelui, în volum de 50% din capacitatea totală, de la temperatura de 32°C până la temperatura de păstrare de 4°C (în decurs de 3 ore).

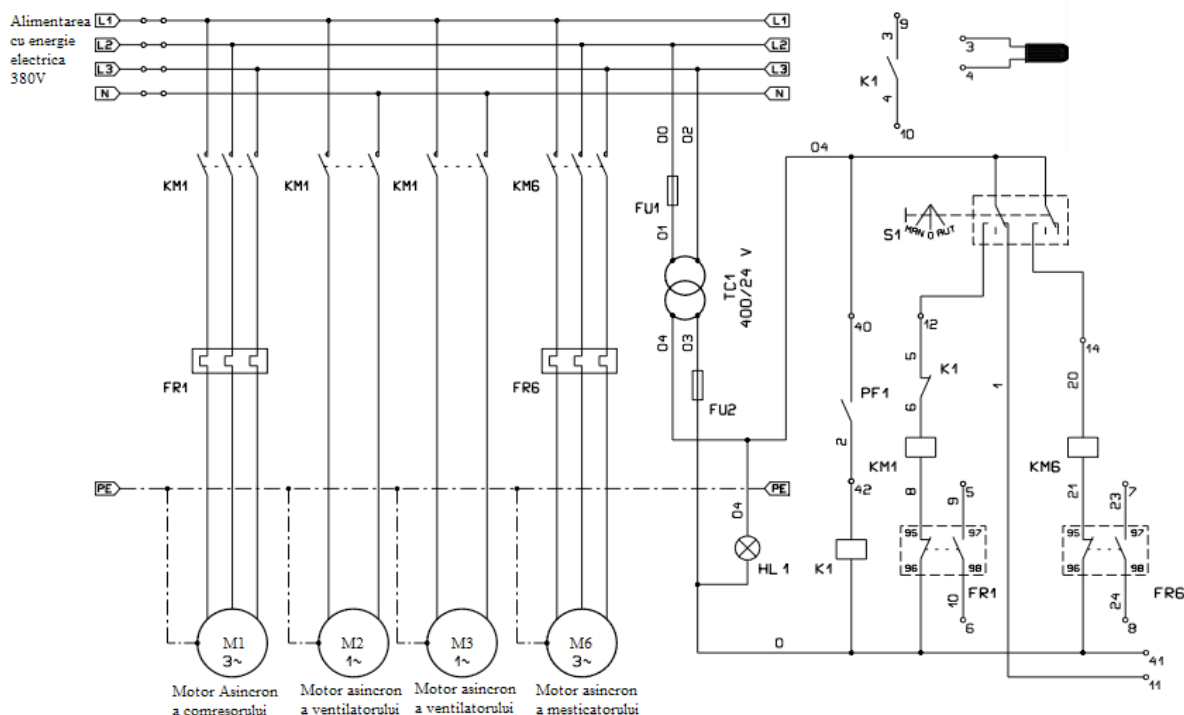


Figura 1. Schema electrică a instalației frigorifice de răcire a laptelui de model UES-1600

Puterea totală a instalației frigorifice se repartizează, conform schemei, în felul următor:

M1 – motorul asincron al compresorului de model R-404A TFH4540Z, cu puterea de $P_2=2,2$ kW și randamentul 0,761;

M2, M3 – motoarele asincrone ale ventilatoarelor, cu puterea $P_2=0,15$ kW fiecare și randamentul 0,72;

M6 – motorul asincron al mestecătorului de model R3-225 H12, cu puterea $P_2=0,044$ kW și randamentul 0,463;

TC1 – transformatorul panoului de comandă, cu 0,1 kVA și factorul de putere 0,742.

În punctul de colectare mai sunt o pompă electrică de 0,95 kW, având randamentul 0,791 și capacitatea de pompare $V_t = 50$ l/min, și două instalații de iluminat a câte 40 W fiecare, una în interiorul punctului de colectare și una la intrare, în afara punctului.

Pentru stabilirea consumului zilnic de energie electrică al receptoarelor din punctul de colectare a laptelui se folosesc următoarele formule:

$$E_{mc} = \frac{P_{2mc}}{\eta_{mc}} \cdot \Delta t_{mc}; \quad (kW \cdot h) \quad \{3\}$$

$$E_{mv2} = \frac{2P_{2mv}}{\eta_{mv}} \cdot \Delta t_{mv}; \quad (kW \cdot h) \quad \{4\}$$

$$E_{mm} = \frac{P_{2mm}}{\eta_{mm}} \cdot \Delta t_{mm}; \quad (kW \cdot h) \quad \{5\}$$

$$E_{Tr} = S_{Tr} \cdot \cos(\varphi_1) \cdot \Delta t_{mv}; \quad (kW \cdot h) \quad \{6\}$$

$$E_{pom} = \frac{P_{2pom} \cdot V_{m.lapte}}{60 \cdot V_{l/min} \cdot \eta_{pom}}; \quad (kW \cdot h) \quad \{7\}$$

$$E_{il} = P_{il.int.} \cdot \Delta t_{il.int.} + P_{il.ext.} \cdot \Delta t_{il.ext.}; \quad (kW \cdot h) \quad \{8\}$$

unde: mc – motorul compresorului, $mv2$ – motoarele ventilatoarelor, mm – motorul mestecătorului, Tr – transformatorul, pom – pompa electrică, il – iluminatul interior și exterior;

E – energia electrică consumată de receptor pentru răcirea volumului mediu de lapte într-o zi;

P_2 – puterea motoarelor;

Δt – timpul de lucru al receptorului în decurs de 24 de ore;

η – randamentul motoarelor;

S_{Tr} – puterea transformatorului;

$\cos(\varphi_1)$ – factorul de putere al transformatorului;

$V_{m.lapte}$ – volumul mediu de lapte colectat într-o zi;

$V_{l/min}$ – volumul de lapte pompat de pompă într-un minut (50 litri/min);

P – puterea instalației de iluminat interior și exterior.

În baza datelor acumulate s-a efectuat analiza consumului de energie electrică al fiecărui receptor în decursul a 24 de ore.

Studiul s-a referit la volumul mediu de lapte determinat mai sus.

S-a stabilit că instalația frigorifică este conectată zilnic începând cu ora 20:00 și deconectată în următoarea zi la 8:00. Durata de funcționare a receptoarelor punctului de colectare a laptelui este diferită și a fost stabilită în felul următor, pentru o zi medie:

a compresorului și ventilatoarelor – în funcție de volumul de lapte și temperatura acestuia la primire.

Pentru volumul mediu de lapte colectat s-a stabilit o durată de funcționare de 5,3 ore;

a mestecătorului instalației – 11 ore;

a panoului de comandă – 12 ore;

a pompei electrice – 0,24 ore (14 min);

a instalației de iluminat interioară – 3 ore;

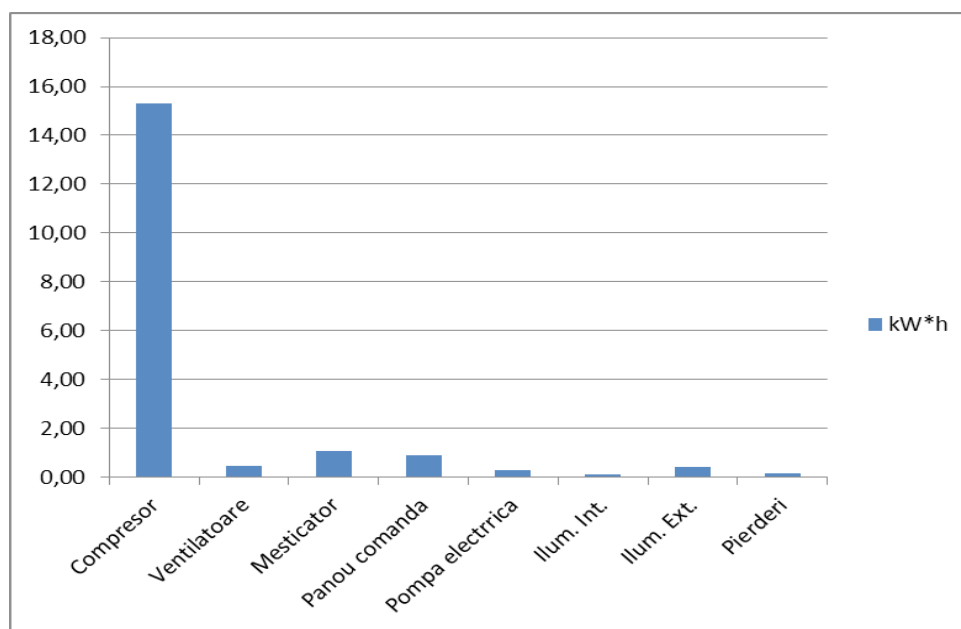
a instalației de iluminat exterioară – 10 ore.

În urma analizei datelor de consum mediu al energiei electrice timp de 24 de ore s-a construit diagrama din figura 2, care ilustrează ipoteza enunțată anterior privind principalul consumator de la punctul de colectare, care este motorul asincron al compresorului instalației destinate răcirii laptelui. Acestuia îi revin peste 82% din consumul total de energie electrică la punctul de colectare.

Tabelul 3. Datele de consum al energiei electrice timp de 24 ore

Receptor	Durata de funcționare în 24 de ore	Consumul de energie, kW*h
Compresorul	5,3	15,32
Ventilatoarele	5,3	0,44
Mesticătorul	11,0	1,05
Panoul de comandă	12,0	0,89
Pompa electrică	0,2	0,29
Iluminatul interior	3,0	0,12
Iluminatul exterior	10,0	0,40
Pierderi în rețeaua internă	12	0,14
TOTAL		18,65

În urma analizei datelor de consum mediu al energiei electrice timp de 24 de ore s-a construit diagrama din figura 2, care ilustrează ipoteza enunțată anterior privind principalul consumator de la punctul de colectare, care este motorul asincron al compresorului instalației destinate răcirii laptelui. Acestuia îi revin peste 82% din consumul total de energie electrică la punctul de colectare.

**Figura 2.** Consumul mediu de energie electrică pentru o zi

În prezent, pentru acționarea compresoarelor instalațiilor de răcire a laptelui sunt utilizate motoarele electrice asincrone cu rotorul în scurtcircuit. Aceste motoare asigură funcționarea fiabilă a instalației în întregime, însă indicii tehnico-economici ai motorului sunt reduși.

Pentru a majora acești indici și pentru a reduce consumul de energie electrică de către compresor s-au studiat lucrări, brevete și alte cercetări științifice din domeniul motoarelor asincrone și al motoarelor sincrone cu magneți permanenți.

Drept alternativă la folosirea motoarelor asincrone în sistemele de acționare electrică a instalațiilor frigorifice de răcire a laptelui se propune trecerea acestora din regim asincron în regim sincron prin amplasarea magneților permanenți pe rotor.

Înlocuirea motorului asincron cu un motor sincron prevede, ca avantaje majore, creșterea randamentului cu valori de până la 10% și a factorului de putere cu până la 25%, ceea ce va duce la micșorarea consumului de energie activă și reactivă din rețea.

Însă această trecere are și unele dezavantaje, anume privind pornirea motorului în regim asincron (Burduniuc, M., Ambros, T., Iazlovețchi, L. 2006). La conectarea înfășurării statorice la rețea, câmpul magnetic învârtitor induce în înfășurarea de pornire o tensiune electromotoare sub acțiunea căreia se închid curenții rotorici.

Interacțiunea câmpului magnetic învârtitor cu curenții rotorici produce cuplul electromagnetic, prin acțiunea cărui rotorul cu magneți permanenți montați pe el pornește. Este important de constatat că câmpul magnetic produs de magneții permanenți induce în înfășurarea statorică o tensiune electromotoare de frecvență variabilă:

$$e_1 = \omega_1 \cdot \Psi_p = 2\pi \cdot f_1 \cdot \Psi_p \quad \{9\}$$

unde Ψ_p este fluxul total produs de magneții permanenți.

Astfel, motorul sincron, funcționând în regim asincron de pornire, acționează concomitent ca generator sincron la rețeaua conectată, producând curent de frecvență variabilă închis prin rețea. Datorită acestui fapt apare un cuplu de frânare corespunzător curenților de frecvență variabilă. Valoarea acestor curenți este suficient de mare, deoarece rezistența rețelei este relativ mică. Pentru a reduce cuplul de frânare în construcția propusă în figura 3, înfășurarea de pornire este realizată din bare înalte care sporesc cuplul asincron de pornire.

În afară de cuplul de frânare produs de magneții permanenți în regim asincron la motorul sincron, apar cupluri sincrone provocate de dantura statorică și rotorică. Pentru a reduce aceste cupluri de frânare, barele rotorice și magneții permanenți trebuie înclinați în raport cu generatoarea cilindrului rotoric.

Calculul electromagnetic al motorului asincron și al celui sincron, la aceleași dimensiuni, arată avantajele motorului propus prin creșterea randamentului și a factorului de putere.

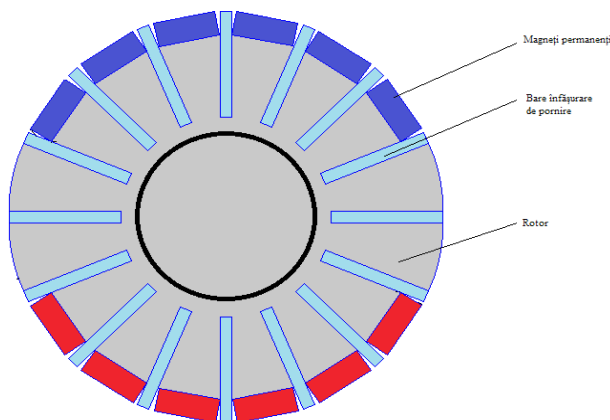


Figura 3. Schema propusă pentru construcția rotorului cu magneți permanenți

CONCLUZII

Analiza efectuată în lucrare a permis stabilirea consumului de energie electrică la punctul de colectare a laptelui pentru fiecare receptor în parte. În baza rezultatelor obținute s-a constatat că principalul consumator de energie este motorul de acționare al compresorului, căruia îi revin circa 82% din consumul total de energie electrică.

S-a propus modificarea rotorului motorului asincron prin modificarea înfășurării de pornire și amplasarea pe acesta a magneților permanenți. Se obține astfel un motor sincron cu magneți permanenți.

S-a stabilit că modificarea propusă a motorului asincron de 2,2 kW în motor sincron cu magneți permanenți are următoarele beneficii:

- majorarea randamentului cu 7,5%, ajungând la 0,818;
- creșterea productivității, întrucât, datorită intrării în sincronism, va dispărea alunecarea;
- micșorarea consumului mediu de energie electrică activă, în cazul acestui punct de colectare a laptelui, cu 1,78 kW*h zilnic, ceea ce constituie o reducere cu 11,6% a consumului de energie al motorului și cu 9,55% a consumului pe întregul punct de colectare;
- majorarea factorului de putere cu 22,1%, care va reduce consumul de energie reactivă din rețea;
- modificarea înfășurării de pornire rezolvă și problema pornirii motorului sincron cu magneți permanenți în regim asincron.

REFERINȚE BIBLIOGRAFICE

1. AMBROS, T. (2008). Convertizoare electrice și electromecanice speciale. Chișinău: Editura „Tehnica-Info”. 288 p.
2. ANSP (2017). Direcția Sanitar-Veterinară, Siguranța și Calitatea Produselor Alimentare de Origine Animală: Lista unităților autorizate care produc și procesează alimente de origine animală. Centre de colectare a laptelui crud: ©2017 [accesat 26.03.2021]. Disponibil: <http://www.ansa.gov.md/ro/content/informa%C5%A3ii-publice>
3. BURDUNIUC, M., AMBROS, T., IAZLOVEȚCHI, L. (2006). Autosincronizarea motorului sincron cu magneți permanenți. In: Meridian Ingineresc. 2006, nr. 4, pp. 35-36. ISSN 1683-853X.)

4. CUȘNIR, M., VOLCONOVICI, L., VOLCONOVICI, A., UCEVATCHIN, A., CUȘNIR, N., SLIPENCHI, V., DAICU, A., VOLCONOVICI, O., POPA, A. (2018). Analiza complexă a proceselor tehnologice automatizate de răcire a laptelui, eficiente din punct de vedere energetic. In: *Lucrări științifice: materialele Simpozionului științific internațional „Realizări și perspective în ingineria agrară și transport auto”*, Univ. Agrară de Stat din Moldova. Chișinău, vol. 51: Inginerie Agrară și Transport Auto, pp. 374-381. ISBN 978-9975-64-300-9.
5. DAICU, A., SCRIPNIC, E., VOLCONOVICI, A., CHIRSANOVA, A., VOLCONOVICI, O., SLIPENCHI, V., VOLCONOVICI, I. (2020). Elaborarea instalației frigorifice automatizate cu consum redus de energie electrică pentru răcirea laptelui. In: *Știința agricolă*, nr. 1, pp. 107-114. ISSN 1857-0003.
6. „INCOMLAC” S.A. (2021). Situația actuală a întreprinderii privind punctele de colectare a laptelui [site]. [accesat 22.03.2021]. Disponibil: http://incomlac.md/ro/view_raw.php?id=6
7. VOLCONOVICI, L., CHIORSAC, M., TURCUMAN, L., VOLCONOVICI, A., OPREA, D., ROTARI, V., SLIPENCHI, V. (2007). Sisteme de răcire a laptelui și de păstrare a fructelor și legumelor cu consum redus de energie. In: *Problemele energiei regionale*, nr.1, pp. 60-67. ISSN 1857-0070.

INFORMAȚII DESPRE AUTOR

URSATII Nicolai

doctorand, Școala doctorală a Parteneriatului instituțiilor din învățământ și cercetare din agricultură, Universitatea Agrară de Stat din Moldova

E-mail: nursatii@gmail.com

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

Data prezentării articolului: 25.03.2021

Data acceptării articolului: 28.05.2021