

UNIVERSITATEA TEHNICĂ A MOLDOVEI

Cu titlu de manuscris

C.Z.U.: [620.9+536.7]:664.65(478)(043.3)

CHELMENCIUC CORINA

**EFICIENTIZAREA ENERGETICĂ A
PROCESELOR ȘI INSTALAȚIILOR DE
PANIFICAȚIE PRIN INTEGRAREA
COGENERĂRII**

221.01 “SISTEME ȘI TEHNOLOGII ENERGETICE”

Autoreferatul tezei de doctor în tehnică

CHIȘINĂU, 2016

Teza a fost elaborată la catedra *Termotehnică și Management în Energetică*,
Universitatea Tehnică a Moldovei

Conducători științifici:

MUSTEAȚĂ Valentin, doctor habilitat în tehnică, profesor universitar, m.c. AȘM

ARION Valentin, doctor habilitat în tehnică, prof. univ., UTM

Referenți oficiali:

1. **CHIORSAC Mihail**, doctor habilitat în tehnică, prof. univ., UTM

2. **TÎRȘU Mihai**, doctor în tehnică, conf. cercet., IE al AȘM

Componența Consiliului Științific Specializat:

1. **AMBROS Tudor, președinte**, doctor habilitat în tehnică, prof. univ., UTM

2. **HLUSOV Viorica, secretar științific**, doctor în tehnică, UTM

3. **POSTOLATII Vitalie**, doctor habilitat în tehnică, prof. univ., academ., IE al AȘM.

4. **BERZAN Vladimir**, doctor habilitat în tehnică, prof. cercet., IE al AȘM

3. **STRATAN Ion**, doctor în tehnică, prof. univ., UTM

4. **SOBOR Ion**, doctor în tehnică, prof. univ., UTM

5. **GUȚU Aurel**, doctor în tehnică, conf. univ., UTM

Susținerea tezei va avea loc la **28 noiembrie 2016, ora 14-00**, în ședința Consiliului Științific Specializat D 31 221.01 - 01 din cadrul Universității Tehnice a Moldovei: str. 31 August 1989, nr. 78, blocul de studii nr. 2, sala 2-222.

Teza de doctor și autoreferatul pot fi consultate la Biblioteca Universității Tehnice și pe pagina web a CNAA (www.cnaa.md).

Autoreferatul a fost expediat la **25 octombrie 2016**.

Secretar științific,

al Consiliului științific specializat, dr.

_____ HLUSOV Viorica

Conducători științifici,

prof. univ., dr. hab.

_____ MUSTEAȚĂ Valentin

prof. univ., dr. hab.

_____ ARION Valentin

Autor

_____ CHELMENCIUC CORINA

I. REPERELE CONCEPTUALE ALE LUCRĂRII

Actualitatea și importanța temei abordate. Preocuparea la nivel global, legată de diminuarea rezervelor de resurse energetice fosile și a impactului utilizării acestora asupra mediului, a făcut ca statele lumii, inclusiv și R. Moldova, să caute soluții de eficientizare a producerii și consumului de energie.

O măsură de sporire a eficienței energetice intens promovată în toată lumea este producerea energiei electrice și energiei termice în regim de cogenerare. În acest context R. Moldova a adoptat programe și legi care promovează utilizarea cogenerării de înaltă eficiență.

Problema sporirii eficienței energetice a proceselor de panificație a fost, este și va fi de mare actualitate, deoarece pâinea reprezintă cel mai solicitat produs alimentar din țară, iar industria de coacere a pâinii ocupă un rol important în industria alimentară a țării.

În Republica Moldova funcționează cca 280 brutării, care produc anual peste 130 mii tone de pâine și produse de patiserie. În procesul de producere se consumă anual 40 milioane kWh de energie electrică, 50 mii Gcal energie termică și cca. 1,8 mil. m³ de gaze naturale, ceea ce aduce la eliminarea în atmosferă a peste 25 mii tone de gaze cu efect de seră. Totodată, în industria autohtonă de panificație sunt rezerve mari de eficientizare energetică.

Actualitatea temei de cercetare este argumentată de necesitatea sporirii eficienței energetice a proceselor de panificație în Republica Moldova și implementării, în cadrul acestora, a unor tehnologii energoeficiente de coacere a pâinii.

Descrierea situației în domeniul de cercetare a tezei. În lucrare este demonstrată sporirea eficienței energetice a instalațiilor de panificație de tip tunel pe gaze, în cazul integrării unei instalații de cogenerare în cadrul acesteia, utilizând atât metoda energetică cât și cea exergetică de analiză a modului de consum al energiei în cadrul acestor instalații. Cu dezvoltarea metodelor respective, de-a lungul anilor, s-au ocupat în special următorii cercetători J. Szargut, R. Petela, A. Andriușcenko, V. Brodianskii, V. Stepanov, D. Gohștein, B. Sajin, E. Iantovskii, A. Bejan, I. Nerescu, V. Radcenco, G. Tsatsaronis, C. Ioniță, T. Sajin.

La etapa actuală, analiza exergetică este frecvent utilizată în studiile efectuate în țările dezvoltate, ce nu se poate spune despre țara noastră. Există foarte puține lucrări în domeniu. Cu studii referitor la aplicarea analizei exergetice s-au ocupat S. Palaș și N. Begleț. Rezultatele cercetărilor acestora s-au soldat cu susținerea tezelor de doctor în acest domeniu. De asemenea, un interes științific față de analiza exergetică au manifestat cadrele didactice din cadrul catedrei

Termotehnica și Management în Energetică: prof. univ., dr. hab. Musteață V., conf. univ., dr. Gîscă D., conf. univ., dr. Guțu A., conf. univ., dr. E. Vîrlan, lect. sup. Tcaci L. Ținând cont de avantajele utilizării analizei exergetice în evaluarea potențialului de eficientizare a consumurilor energetice în diferite procese și instalații industriale, promovarea aplicării acestei metode este foarte oportună.

Scopul prezentei lucrări este de a demonstra că integrarea cogenerării în procesele de coacere din cuptoarele de tip tunel reduce ireversibilitatea proceselor de obținere a gazelor, sporind eficiența energetică, exergetică și economică a instalațiilor de panificație.

Obiectivele generale ale lucrării:

- Analiza stării industriei de panificație în R. Moldova, identificarea problemelor legate de eficientizarea consumurilor energetice și elaborarea măsurilor de soluționare a acestora.
- Studiu bibliografic privind tipurile de cuptoare de panificație și metodologiile de evaluare a eficienței energetice a proceselor și instalațiilor tehnologice cu scopul identificării tipului de cuptor utilizat în calitate de obiect de studiu în lucrare și a metodologiei de evaluare a eficienței energetice a acestuia.
- Prezentarea esenței, beneficiilor și constrângerilor aplicării conceptului CogIntegr, concept nou propus în lucrare, în cadrul instalațiilor tehnologice industriale.
- Elaborarea metodologiilor de evaluare a eficienței energetice și exergetice a proceselor cu gaze în tehnologia clasică de panificație și în cea cu cogenerare integrată.
- Evaluarea eficienței energetice și exergetice a procesului privind obținerea gazelor în instalația clasică de panificație și în cea cu cogenerare integrată.
- Evaluarea eficienței energetice și economice a soluției tehnice propuse.

Metodologia cercetării științifice. La atingerea obiectivelor lucrării au fost utilizate metodele analizei energetice și exergetice a proceselor tehnologice cât și metoda de calcul a cheltuielilor totale actualizate prin aplicarea modelului static echivalent, cu scopul de a evalua fezabilitatea economică a soluției tehnice propuse în lucrare.

Pentru colectarea datelor experimentale necesare efectuării studiului s-au utilizat aparate de măsură performante, precum analizorul de gaze de ardere, termometru cu infraroșu și termometru cu imersie, iar pentru elaborarea programului de calcul specializat în evaluarea fezabilității economice a tehnologiilor de cogenerare integrată s-a utilizat programul Microsoft Excel.

Noutatea și originalitatea științifică a lucrării. A fost propus și dezvoltat un nou concept CogIntegr - ce se referă la integrarea tehnologiei clasice de cogenerare într-un sistem tehnologic industrial, ceea ce conduce la sporirea eficienței energetice a acestuia.

Problema științifică importantă soluționată constă în demonstrarea eficienței aplicării conceptului CogIntegr în instalațiile de cuptoare cu recircularea gazelor de ardere, în scopul valorificării potențialului energetic pierdut în procesul obținerii agentului termic, fapt ce a contribuit la eficientizarea energetică a proceselor și instalațiilor de panificație, în vederea aplicării ulterioare a acestui concept pentru alte instalații industriale.

Importanța teoretică a tezei. Teza aduce o contribuție științifică într-un domeniu de mare interes cel al eficienței energetice și promovării cogenerării. Au fost propuse: un concept nou de sporire a eficienței energetice a instalațiilor tehnologice și metodele de evaluare a eficienței energetice, exergetice și economice a acestora.

Valoarea aplicativă a lucrării. S-a demonstrat că integrarea cogenerării, bazate pe utilizarea motorului cu ardere internă, în procesele de panificație îmbunătățește eficiența energetică a acestora, generând economii nete valoroase; s-a dovedit că conceptul propus CogIntegr poate fi aplicat oricărui proces tehnologic industrial în care în calitate de agent termic sunt utilizate gazele de ardere. De asemenea, a fost elaborat un program de calcul pentru evaluarea eficienței economice a proiectelor de implementare a tehnologiei CogIntegr.

Rezultatele științifice principale înaintate spre susținere:

1. În premieră a fost formulat și dezvoltat conceptul “CogIntegr”, care presupune integrarea cogenerării în procesele tehnologice ca măsură de sporire a eficienței energetice a instalațiilor industriale.
2. Pentru instalațiile tehnologice de tip CogIntegr au fost elaborate metodologiile de evaluare a eficienței energetice, exergetice și economice.
3. A fost demonstrat că integrarea cogenerării într-o instalație tehnologică, care utilizează în calitate de agent termic gazele de ardere, reduce ireversibilitatea termodinamică a procesului de obținere a agentului termic, astfel sporind eficiența energetică a procesului respectiv și a instalației tehnologice în ansamblu.
4. S-a dovedit că conceptul CogIntegr de sporire a eficienței energetice și economice poate fi aplicat în orice proces tehnologic industrial, în care ca agent termic sunt utilizate gazele de ardere.

5. Pentru întreaga gamă de capacități de producție a cuptoarelor de panificație de tip tunel a fost dimensionat motorul cu ardere internă, ce ar putea sta la baza unei instalații de cogenerare, integrate cu cuptorul și au fost evaluate costurile nivelate ale energiilor produse, precum și valorile economiilor nete obținute, în cazul integrării acestora la întreprinderea de panificație studiată în lucrare.

Implementarea rezultatelor obținute:

- a) Rezultatele acestei lucrări sunt utilizate în cadrul Proiectului de cercetare instituțional *Către o autonomie energetică a Republicii Moldova „AUTOEN”* (Proiectul nr. 50 inst, 2015-2018).
- b) Instalațiile tehnologice de tip CogIntegr studiate în lucrare, se înscriu perfect în categoria cogenerării de înaltă eficiență a Directivei Parlamentului European și Consiliului privind eficiența energetică și a Legii R. Moldova cu privire la energia termică și promovarea cogenerării.
- c) Rezultatele științifico-practice obținute în această lucrare sunt implemente în procesul de învățământ la următoarele discipline “Termodinamica tehnică”, ”Cuptoare industriale”, ”Conservarea energiei și surse regenerabile de energie”, ”Energetica generală” (Ciclul I Licență); “Analiza termodinamică a proceselor tehnologice” și ”Auditul energetic” (Ciclul II Masterat) în cadrul facultății Energetică și Inginerie Electrică, UTM.

Aprobarea rezultatelor. Rezultatele principale au fost publicate, prezentate și discutate în cadrul mai multor seminare, simpozioane și conferințe de nivel național și internațional, în total 6.

Publicații științifice. Rezultatele cercetărilor în cadrul tezei de doctor au fost publicate în 10 lucrări științifice, inclusiv 2 cotate *Index Copernicus International* și un articol în reviste naționale, categoria C.

Structura și volumul lucrării. Teza include introducerea, 4 capitole, concluzii generale și recomandări, bibliografia (153 titluri), 11 anexe. Numărul total de pagini al lucrării este 159, cu 41 figuri și 29 tabele.

Cuvinte cheie: ireversibilitate termodinamică, eficiență energetică, eficiență exergetică, instalație de panificație, instalație de cogenerare, concept „CogIntegr”, grad de perfecțiune termodinamică.

II. CONȚINUTUL TEZEI

Introducerea prezintă aspectele generale privind necesitatea sporirii eficienței energetice a proceselor de panificație și promovării integrării cogenerării în cadrul acestor procese. De asemenea sunt prezentate actele legislative care reglementează domeniul sporirii eficienței energetice și promovării utilizării

cogenerării de înaltă eficiență; sunt incluse actualitatea și argumentarea alegerii temei de cercetare, scopul și obiectivele tezei, importanța științifică, teoretică și aplicativă a lucrării.

Capitolul 1 **“Importanța eficientizării energetice a instalațiilor de panificație”** reprezintă un studiu bibliografic despre evoluția dezvoltării industriei de panificație la nivel mondial și național, etapele procesului de panificație, consumurile energetice aferente acestora, cât și despre metodele de eficientizare a acestor consumuri. Este prezentată o descriere a celor mai utilizate cuptoare de panificație, punându-se accent pe promovarea utilizării cuptoarelor de tip tunel pe gaze naturale.

Este realizată o analiză amplă a metodelor de evaluare a eficienței energetice a proceselor și instalațiilor tehnologice, cu prezentarea esenței, avantajelor și dezavantajelor fiecărei metode și evidențierea necesității utilizării metodei exergice, pe lângă cea energetică, pentru a evalua cantitativ și calitativ modul de utilizare a energiei în procesul sau instalația studiată.

Capitolul 2 **“Aspecte metodologice ce privesc evaluarea eficienței energetice a instalațiilor de cuptoare de tip CogIntegr”** reprezintă partea metodologică a tezei. Sunt expuse cauzele apariției ireversibilității proceselor cu gaze, printre care, cele mai importante fiind – transferul de căldură, amestecarea și laminarea gazelor. Este argumentată necesitatea diminuării ireversibilității acestor procese, ținând cont de faptul că sporirea acesteia reduce eficiența energetică a proceselor respective.

Este prezentată soluția clasică de obținere a gazelor în instalațiile de panificație cu recircularea gazelor și ireversibilitatea asociată acesteia. Cuptorul de panificație de tip PPP 3 54.211 ST, care reprezintă subiectul cercetării în lucrare, este un cuptor de tip tunel. Temperatura teoretică a gazelor în camera de ardere este de cca. 1630 °C, pe când temperatura necesară a gazelor în canalele cuptorului este de cca 450 °C (fig. 1).

Se observă o diferență mare dintre temperatura gazelor în camera de ardere și cea necesară în canalele camerei de coacere. Reducerea valorii temperaturii gazelor din camera de ardere se realizează în urma procesului de amestecare a gazelor fierbinți cu gaze reci recirculate din canalele camerei de coacere în camera de amestecare.

Procesele de amestecare a gazelor sunt foarte ireversibile, generează pierderi mari de exergie și reduc eficiența energetică a proceselor care decurg în instalația tehnologică. Pornind de la acest fapt, în lucrare sunt propuse câteva soluții de reducere a ireversibilității proceselor cu gaze prin aplicarea așa numitului *concept CogIntegr*, care presupune integrarea unei tehnologii de

cogenerare, care produce gaze de ardere, într-o instalație de panificație, sau în alt tip de instalații care utilizează gaze de ardere în calitate de agent termic, astfel încât, se va produce energie electrică, iar gazele de ardere evacuate din instalația generatoare vor fi utilizate în calitate de agent termic pentru efectuarea proceselor în instalația tehnologică (în cazul dat – în cuptoare). Astfel, camera de amestec va fi exclusă, evitându-se pierderile de exergie cauzate de procesul de amestecare existent în tehnologia clasică.

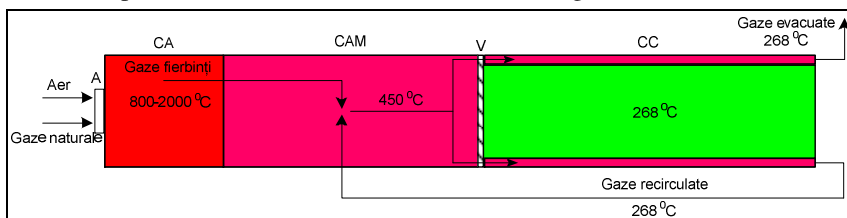


Figura 1. Schema de principiu a instalației clasice de panificație:

A – arzător; CA – camera de ardere; CAM – camera de amestecare;

V – ventilator; CC – camera de coacere.

În figura 2 este prezentată schema bloc a conceptului CogIntegr aplicabil pentru instalații tehnologice care utilizează în calitate de agent termic gazele de ardere.

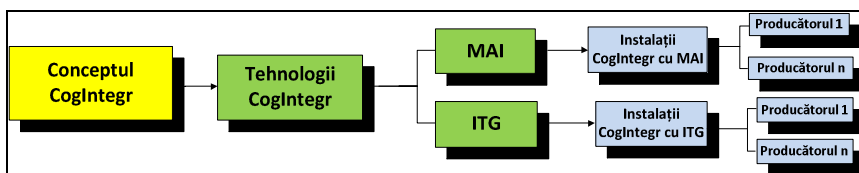


Figura 2. Schema bloc a conceptului CogIntegr

Trebuie de remarcat faptul că, chiar dacă tehnologiile de cogenerare sunt mai multe decât cele prezentate în figura 2, pentru obiectul cercetării în lucrare – cuptorul de panificație cu gaze, sunt adecvate tehnologiile de cogenerare cu motor cu ardere internă (în continuare - MAI) și cu instalație de turbină cu gaze (în continuare ITG), pentru că unul din scopurile principale ale integrării cogenerării constă în valorificarea potențialului energetic pierdut în urma arderii combustibilului în procesul de pregătire a gazelor de temperatură necesară pentru efectuarea procesului de coacere a pâinii.

Efectele aplicării conceptului CogIntegr vor fi:

- *Sporirea eficienței termodinamice* a proceselor cu gaze de ardere datorită evitării procesului de amestecare a acestora. Astfel, potențialul pierdut în urma răcirii gazelor de ardere, de la valoarea din camera de ardere până la

valoarea necesară în canalele camerei de coacere în cuptorul clasic, va fi utilizat pentru producerea energiei electrice.

- În cazul utilizării instalațiilor cu cogenerare rezultă o *economie de combustibil*, în comparație cu generarea separată a energiei electrice și căldurii, de 25-40 %.
- *Asigurarea autonomiei energetice* parțiale sau totale a întreprinderii.
- În cazul întreprinderilor cu o productivitate practic constantă, la care puțin variază sarcinile electrică și termică, o instalație cu cogenerare la așa obiect poate funcționa cu un *coeficient mare de utilizare a puterii instalate*, ceea ce ar reduce prețul de cost al energiilor produse.

Desigur, sunt și unele **constrângeri** care nu permit integrarea cogenerării în orice tip de instalație tehnologică. Din cauza că gazele de ardere evacuate din MAI pot conține particule de ulei ars, această tehnologie trebuie aplicată astfel încât să nu se admită contactul direct dintre gaze și produsele procesate în instalația tehnologică. Deoarece gazele de ardere evacuate din instalația generatoare vor fi utilizate pentru efectuarea proceselor în cuptor, este necesar de selectat un tip de instalație de cogenerare care ar fi compatibilă cu cea în care prima urmează să fie integrată. Compatibilitate va fi în cazul când valorile debitului, temperaturii și respectiv sarcinii termice a gazelor evacuate vor corespunde valorilor necesare efectuării procesului în instalația de panificație.

În urma analizei parametrilor de funcționare a ITG-urilor disponibile la momentul actual pe piață, s-a ajuns la concluzia că în cazul cuptoarelor de panificație nu este posibilă integrarea acestora, deoarece valorile temperaturilor gazelor evacuate din ITG de puteri mici sunt insuficiente pentru asigurarea coacerii pâinii (250-350 °C). Însă aceasta tehnologie poate fi integrată cu succes în cadrul instalațiilor în care temperatura gazelor necesară efectuării proceselor tehnologice se încadrează în domeniul respectiv.

Astfel, s-a ajuns la concluzia că unica tehnologie CogIntegr care poate fi aplicată în cadrul instalației de panificație studiată în lucrare este cea cu MAI (fig. 3).

Tot în capitolul 2 sunt prezentate metodologiile elaborate de analiză energetică și exergetică ale procesului de obținere a gazelor în instalația clasică de panificație și în cea de tip “CogIntegr”, prin identificarea conturului de analiză (figurile 4-7), întocmirea ecuațiilor bilanțurilor energetice și exergetice și prezentarea relațiilor de calcul ale componentelor bilanțurilor.

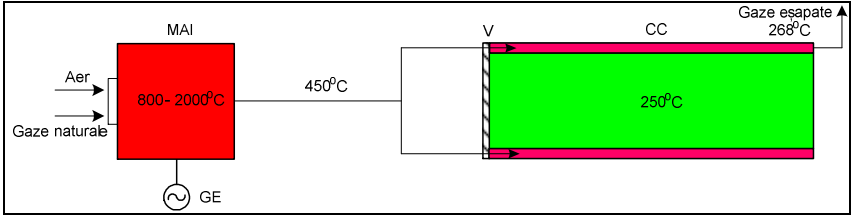


Figura 3. Schema de principiu a instalației de panificație de tip CogIntegr: MAI - motor cu ardere internă; GE – generator electric. V – ventilator; CC – camera de coacere.

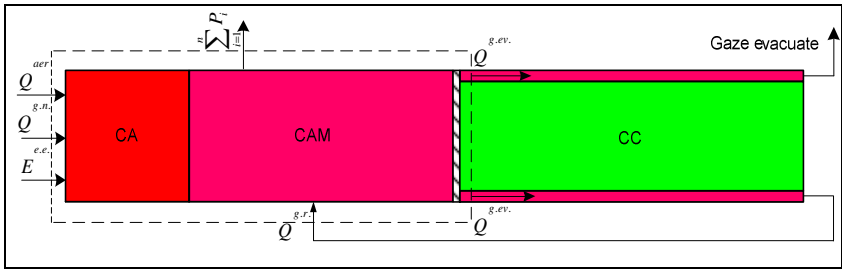


Figura 4. Prezentarea fluxurilor energetice din procesul de producere a gazelor în instalația clasică de panificație:

Q^{aer} – fluxul de căldură introdus cu aerul necesar arderii; $Q^{g.n.}$ – fluxul de căldură introdus cu combustibilului; $E^{e.e.}$ – puterea electrică a utilajelor; $Q^{g.r.}$ – fluxul de căldură introdus cu gazele recirculate; $Q^{g.ev.}$ – fluxul de căldură evacuat cu gazele de ardere;

$$\sum_{i=1}^n P_i - \text{fluxul de căldură pierdut.}$$

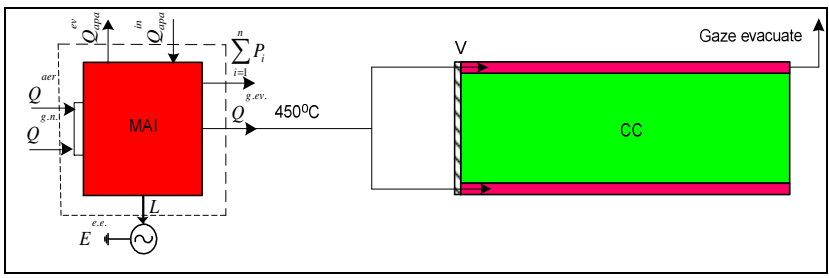


Figura 5. Prezentarea fluxurilor energetice din procesul de producere a gazelor în instalația de panificație de tip CogIntegr cu MAI:

$Q^{ev.}_{apa}$ - fluxul de căldură evacuat cu apa de răcire a MAI; Q^{in}_{apa} - fluxul de căldură introdus cu apa de răcire; L – lucrul mecanic produs.

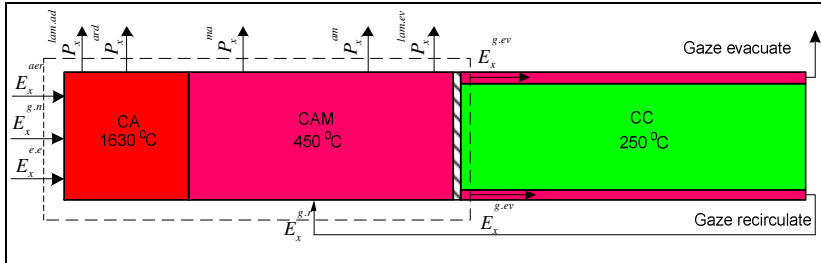


Figura 6. Prezentarea fluxurilor exergetice din procesul de producere a gazelor în instalația clasică de purificare:

E_x^{aer} – exerгия aerului; $E_x^{g,n}$ – exerгия combustibilului; $E_x^{e,e}$ – exerгия energiei electrice consumată; $E_x^{g,r}$ – exerгия gazelor recirculate; $E_x^{g,ev}$ – exerгия gazelor evacuate;

P_x^{ard} – pierderile de exerгия asociate procesului de ardere a combustibilului;

P_x^{ma} - pierderile de exerгия în mediul ambiant; P_x^{am} - pierderile de exerгия asociate procesului de amestecare a gazelor; P_x^{lam} - pierderile de exerгия datorate procesului de laminare a agentului de lucru în supapele de admisie și evacuare.

Capitolul se finalizează cu prezentarea algoritmului de calcul a eficienței energetice a celor două instalații studiate în lucrare, prin aplicarea metodei analizei energetice.

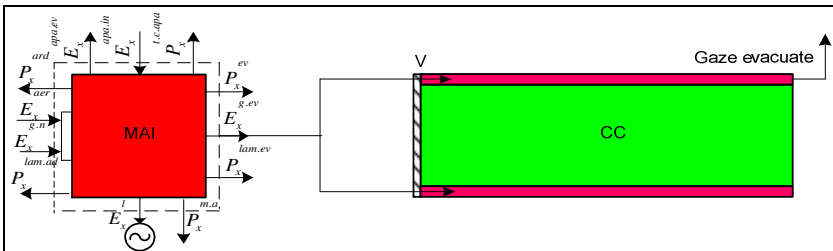


Figura 7. Prezentarea fluxurilor exergetice din procesul de producere a gazelor în instalația de purificare de tip CogIntegr cu MAI:

$E_x^{apa,in}$ - fluxul de exerгия introdus cu apa de răcire a MAI; $E_x^{apa,ev}$ - fluxul de exerгия evacuat cu apa de răcire a MAI; E_x^l – fluxul de exerгия cu lucrul mecanic produs;

P_x^{ev} – pierderile de exerгия datorate evacuării agentului de lucru; $P_x^{d.c.apa}$ - pierderile de exerгия datorate transferului de căldură de la gaze la apa de răcire.

Capitolul 3 “Evaluarea eficienței energetice și exergetice ale proceselor și instalațiilor studiate” reprezintă partea aplicativă a tezei. În acest capitol sunt prezentate datele experimentale (tab. 1) obținute în urma efectuării unor măsurători în cadrul unui proces de coacere a pâinii într-o instalație de

panificație de tip tunel, necesare pentru calculul parametrilor motorului cu ardere internă care urmează a fi integrat cu cuptorul. În baza acestor calcule, a fost selectată o instalație de cogenerare bazată pe MAI de tip PG475B, cu puterea de 380 kW_e. Sarcina termică a instalației de cogenerare constituie 683 kW_t, din care – 356 kW - sarcina termică a gazelor de ardere evacuate din MAI (vor fi debitate în canalele camerei de coacere a cuptorului) și 327 kW – sarcina termică a apei de răcire, care va fi utilizată pentru producerea apei fierbinți necesare pentru efectuarea proceselor tehnologice la fabrică.

Tabelul 1. Caracteristicile de bază ale cuptorului PPP

Caracteristici	Simbol	Unitate	Valoare	Sursa de obținere
1	2	3	4	5
Dimensiunile de gabarit, lățime×lungime×înălțime	$L \times l \times h$	m	3,0×20,6×3,05	Pașaport tehnic
Combustibil	-	-	Gaze naturale	Pașaport tehnic
Consumul de combustibil	B	m^3/s	0,014	Carte de regim
Productivitatea cuptorului	G	kg/h	972	Pașaport tehnic
Conținutul de miez în pâine	g_m	kg_m/kg_p	0,51	Cîntar
Conținutul de coajă în pâine	g_c	kg_c/kg_p	0,49	Cîntar
Masa unei bucăți de aluat	g_a	kg	0,53	Cîntar
Masa unei pâini	g_p	kg	0,45	Cîntar
Temperatura miezului pâinii fierbinți	t_m	$^{\circ}C$	98	Termometru cu imersie
Temperatura cojii pâinii fierbinți	t_c	$^{\circ}C$	140	Termometru infraroșu
Temperatura aluatului	t_a	$^{\circ}C$	25	Termometru infraroșu
Consumul de abur în camera de coacere	D	kg/h	240	Debitmetru fix
Presiunea aburului injectat în cuptor	P_{abur}	kPa	20	Manometru fix
Suprafața deschiderilor de alimentare a cuptorului	$S_{deschid}$	m^2	1,134	Metru rolă
Durata de funcționare a cuptorului	τ	h/zi	22/24	Discuție operator cuptor
Temperatura aerului în camera de coacere	t_{zona1}	$^{\circ}C$	217	Tablou de comandă
	t_{zona2}		232	
	t_{zona3}		229	
	t_{zona4}		220	
Temperatura gazelor la intrare în canale	t_{gc}	$^{\circ}C$	450	Analizor gaze
Temperatura gazelor evacuate	$t_{g.ev}$	$^{\circ}C$	268	Analizor gaze

Tabelul 1 (Continuare)

1	2	3	4	5
Valorile coeficientului de exces de aer: - la arzător - la coșul de fum	α	-	1,1 1,3	Carte de regim Analizor gaze
Temperatura aerului din secția de producere	t_{aer}	$^{\circ}C$	24	Analizor gaze
Umiditatea relativă a aerului din camera de coacere	φ_{cc}	%	40	Psihrometru
Temperatura pereților exteriori ai cuptorului	t_p	$^{\circ}C$	35	Termometru infraroșu
Temperatura benzii la intrare în cuptor	t'_b	$^{\circ}C$	30	Termometru infraroșu
Temperatura benzii la ieșire din cuptor	t''_b	$^{\circ}C$	166	Termometru infraroșu
Presiunea gazelor în canalele de coacere	p	Pa	110000	Pașaport tehnic
Presiunea mediului ambiant	p_{ma}	Pa	98642	Barometru

De asemenea, în acest capitol sunt prezentate calculele de evaluare a eficiențelor energetice (tab. 2 și 3) și exergetice (tab. 4 și 5) ale proceselor de obținere a gazelor în cele două tipuri de instalații studiate în lucrare, cu determinarea valorilor randamentelor energetice și a coeficienților de perfecțiune termodinamică a acestora. Sunt prezentate structura pierderilor de exergie, diagramele Sankey și Grassman (fig. 8) pentru procesele analizate.

Tabelul 2. Bilanțul energetic al sistemului de producere a gazelor în cuptor

Fluxuri de energii introduse în contur			Fluxuri de energii evacuate din contur		
Notăție	Valori		Notăție	Valori	
	Absolute, kW	Relative, %		Absolute, kW	Relative, %
$Q^{g,n}$	463	56,5	$Q^{g,ev}$	677	82
$Q^{g,r}$	345	41,9			
E^{ee}	9	1,1			
Q^{aer}	4,7	0,5			
$\sum_{i=1}^n Q_i^{in}$	821,7	100	$\sum_{i=1}^n Q_i^{ev}$	677	82
Fluxul de căldură pierdut $821,7 - 677 = 144,7$ kW					
Randamentul energetic 82 %					

Tabelul 3. Bilanțul energetic al camerei de ardere a MAI

Fluxuri de energii introduse în contur			Fluxuri de energii evacuate din contur		
Notăție	Valori		Notăție	Valori	
	Absolute, kW	Relative, %		Absolute, kW	Relative, %
$Q^{g,n}$	1157	73,3	Q_{apa}^{ev}	727	46,1
Q_{apa}^{in}	405	25,7	L	378	24,1
Q^{aer}	16	1,0	$Q^{g,ev}$	356	22,6
$\sum_{i=1}^n E_i^{in}$	1578	100	$\sum_{i=1}^n E_i^{ev}$	1461	92,6
Fluxul de căldură pierdut $1578 - 1461 = 117$ kW					
Randamentul energetic 92,6 %					

Din analiza datelor prezentate în tabelele 2 și 3 rezultă că pierderile energetice în procesul de obținere a gazelor în MAI constituie – 7,4% și sunt de cca 2,5 ori mai mici decât pierderile de energie ale aceluiași proces din sistemul de producere a gazelor în cuptorul clasic – 18%, ceea ce denotă faptul că eficiența energetică a procesului analizat sporește în cazul aplicării tehnologiei CogIntegr.

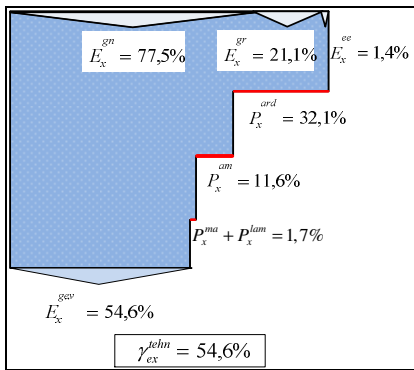
Astfel, randamentul energetic al procesului de obținere a gazelor în camera de ardere a MAI este mai mare cu 10,6% decât în cazul producerii procesului respectiv în focarul cuptorului clasic. Deci, integrarea instalației de cogenerare în cadrul instalației de panificație se răsfrânge pozitiv asupra eficienței energetice a procesului de obținere a gazelor de ardere.

Tabelul 4. Bilanțul exergetic al sistemului de producere a gazelor în cuptor

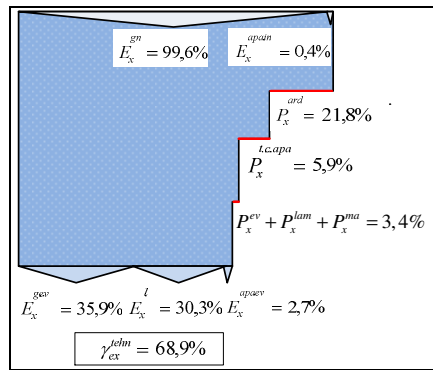
Fluxuri de exergii introduse în contur			Fluxuri de exergii evacuate din contur		
Notăție	Valori		Notăție	Valori	
	Absolute, kW	Relative, %		Absolute, kW	Relative, %
$E_x^{g,n}$	497	77,5	$E_x^{g,ev}$	349,8	54,6
$E_x^{g,r}$	135	21,1			
$E_x^{e,e}$	9	1,4			
$\sum_{i=1}^n E_{xi}^{in}$	641	100	$\sum_{i=1}^n E_{xi}^{ev}$	349,8	54,6
Pierderile de exergie $641 - 349,8 = 291,2$ kW					
Gradul de perfecțiune termodinamică 54,6 %					

Tabelul 5. Bilanțul exergetic al camerei de ardere a MAI

Fluxuri de exergii introduse în contur			Fluxuri de exergii evacuate din contur		
Notăție	Valori		Notăție	Valori	
	Absolute, kW	Relative, %		Absolute, kW	Relative, %
$E_x^{g.n}$	1248,7	99,6	$E_x^{g.ev}$	450	35,9
$E_x^{apa.in}$	4,9	0,4	E_x^l	378	30,3
$\sum_{i=1}^n E_{xi}^{in}$	1253,6	100	$E_x^{apa.ev}$	34,9	2,7
			$\sum_{i=1}^n E_{xi}^{ev}$	862,9	68,9
Pierderile de exergie 1253,6 – 862,9 = 390,7 kW					
Gradul de perfecțiune termodinamică 68,9 %					



a)



b)

Figura 8. Diagramele Grassman pentru procesele de obținere a gazelor în:

a) cuptorul clasic; b) instalația de cupatoare de tip CogIntegr.

Din analiza datelor prezentate în tabelele 4, 5 și în figura 8 rezultă că integrarea instalației de cogenerare în instalația de panificație duce la micșorarea gradului de ireversibilitate termodinamică a procesului de obținere a agentului termic (gazelor de ardere) cu 14,3 %, în comparație cu cuptorul clasic, respectiv cu același număr de puncte procentuale va spori gradul de perfecțiune termodinamică a acestui proces, încă o dată în plus subliniind fezabilitatea soluției tehnice propuse.

Tot în acest capitol sunt prezentate calculele de evaluare a eficienței energetice a celor două instalații studiate în lucrare, cu prezentarea diagramelor Sankey (fig. 9).

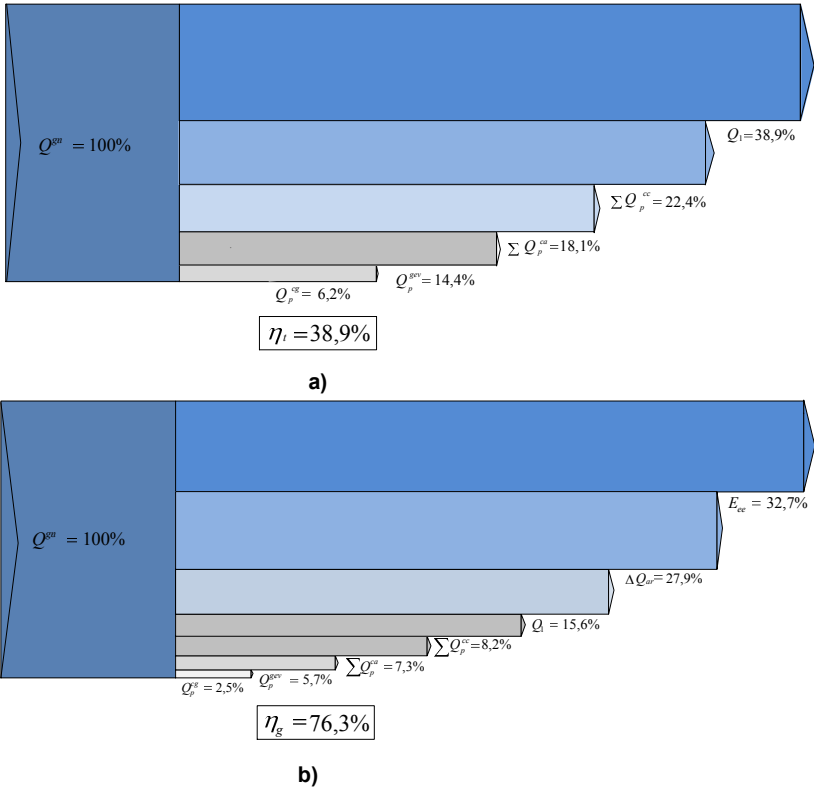


Figura 9. Diagramele Sankey pentru:

a) instalația clasică de purificație; b) instalația de purificație de tip CogIntegr.

Q^{aer} – fluxul de căldură introdus cu aerul necesar arderii; $Q^{g,n}$ – fluxul de căldură introdus cu combustibilul; $\sum Q_p^{cc}$ – pierderile de căldură ale camerei de ardere;

Q_l – fluxul de căldură util consumat pentru coacerea pâinii; Q_p^{cg} – pierderile de căldură din canalele de gaze; $\sum Q_p^{co}$ – pierderile de căldură ale camerei de coacere;

$Q_p^{g,ev}$ – pierderile de căldură cu gazele evacuate; ΔQ_{ar} cantitatea de căldură evacuată cu apa de răcire a MAI; $E_{e,e}$ - puterea electrică a MAI.

Randamentul termic al instalației de cuptoare CogIntegr cu MAI este mai mare cu 4,6 % decât cel al instalației de cuptoare clasice, dar, deoarece prima reprezintă o instalație de cogenerare, eficiența energetică a acesteia este relevant să se exprime prin randamentul global, calculat cu următoarea relație:

$$\eta_g = \frac{Q_u}{Q^{g.n}} = \frac{Q_1 + E_{ee} + \Delta Q_{ar}}{Q^{gn}} = \frac{180 + 380 + 323}{1157} = 0,763. \quad (1)$$

Trebuie de remarcat faptul că randamentul global al instalației va primi valoarea de 76,3 % în cazul când, căldura gazelor la coș va fi evacuată în mediul ambiant și nu va fi recuperată căldura pâinii fierbinți evacuate din cuptor. În cazul când se vor implementa soluțiile de recuperare ale acestor fluxuri (propușe în lucrare), randamentul global al instalației va constitui:

$$\eta_g = \frac{Q_u}{Q^{g.n}} = \frac{Q_1 + E_{ee} + \Delta Q_{ar} + Q_r^{g.ev} + Q_{r,p}}{Q^{g.n}} = \frac{180 + 380 + 323 + 54 + 14}{1157} = 0,822. \quad (2)$$

Deci, se poate concluziona că eficiența energetică a instalației de panificație de tip CogIntegr cu MAI este practic de 2 ori mai mare decât cea a cuptorului clasic de panificație PPP.

Capitolul 4 „**Fezabilitatea economică a integrării tehnologiei de cogenerare în instalația de panificație**” reprezintă al doilea capitol aplicativ al tezei, în care sunt prezentate calculele care demonstrează fezabilitatea economică a tehnologiei “CogIntegr” cu MAI. Criteriile de bază utilizate în evaluarea eficienței economice a implementării tehnologiei de cogenerare integrată sunt economiile maxime și costul minim nivelat al energiilor produse pe durata de studiu (CNAE).

Proiectul se va considera fezabil în cazul în care în urma implementării acestuia (*scenariul de proiect*), cheltuielile totale aferente aprovizionării cu energie vor fi mai mici decât până la implementarea proiectului (*scenariul de bază*), adică în cazul respectării condiției:

$$EcNA = CTA_{SB} - CTA_{SP} > 0 \quad (3)$$

unde: CTA_{SB} reprezintă cheltuielile totale actualizate din scenariul de bază;

CTA_{SP} - cheltuielile totale actualizate din scenariul de proiect.

Cheltuielile totale actualizate, asociate unei instalații de cogenerare (de tipul celei studiate în lucrare), pe durata ei de viață, cuprinde:

$$CTA_{IC} = CTA_I + CTA_{O\&M} + CTA_{comb} + CTA_{ulei}, \quad (4)$$

unde: CTA_I reprezintă cheltuielile cu investiția;

- $CTA_{O\&M}$ - cheltuielile de operare și mentenanță;
- CTA_{comb} - cheltuielile cu combustibilul;
- CTA_{ulei} - cheltuielile cu uleiul pentru lubrifiere.

Calculul CTA, pe componente, se efectuează prin aplicarea modelului economic static, echivalent celui dinamic. Fiecare componentă a relației (4), cu excepția primei, se determină ca fiind produsul cheltuielilor $C_{0,x}$, pentru un an de referință t_0 , la o durată de studiu recalculată $\bar{T}_{T,x}$:

$$CTA = C_{0,x} \cdot \bar{T}_{T,x}. \quad (5)$$

Durata $\bar{T}_{T,x}$ ia în considerație mai mulți factori, printre care, după caz, durata calendaristică de studiu T , rata de actualizare i , dinamica creșterii prețului la combustibil sau energie, rata de degradare a capacității de producere a instalației ș.a. Aceasta, la general, poate fi determinată cu relația:

$$\bar{T}_{T,x} = \left[1 - (1+x)^{-T} \right] / x, \quad (6)$$

în care x reprezintă o rată sintetică de recalculare a duratei perioadei de studiu:

$$x = (1+i) / (1+r) - 1, \quad (7)$$

unde: i reprezintă rata de actualizare;

r - rata creșterii anuale a cheltuielii respective.

Pentru determinarea costului nivelat al energiei electrice produse în cadrul instalației de cogenerare, este utilizată metoda cheltuielilor remanente, conform căreia, costul energiei termice produse se acceptă la nivelul costului unei surse de referință $CTA_{Q,REF} = CNAE_{Q,REF}$, iar costul energiei electrice produse $CNAE_{W,IC}$ se determină cu relația:

$$CNAE_{W,IC} = (CTA_{IC} - CTA_{Q,REF}) / WTA, \quad (8)$$

în care WTA reprezintă volumul energiei electrice produse pe perioada considerată, valoare actualizată.

Pentru evaluarea fezabilității economice a tehnologiei CogIntegr studiată în lucrare, în calitate de scenariu de bază se va utiliza varianta existentă de aprovizionare cu energie a unei fabrici de panificație din orașul Chișinău. Întreprinderea de panificație are un consum anual de energie electrică de cca. 7500 MWh/an (27 TJ/an). Toată energia electrică consumată este achiziționată din rețeaua de interes public (în continuare - RIP).

Pentru realizarea proceselor tehnologice și pentru încălzirea încăperilor se utilizează abur și apă fierbinte care sunt produse la centrala termică proprie.

Consumul anual de energie termică al întreprinderii constituie 7000 Gcal/an (29,3 TJ/an). Pentru producerea energiei termice la centrala termică se consumă anual cca. 986 mii m³ gaze naturale. Fabrica dispune de 2 cupatoare de panificație pe gaze naturale, de tipul celui studiat în lucrare, care consumă anual cca. 378 mii m³ de gaze naturale fiecare. Deoarece fabrica considerată reprezintă un producător important de produse de panificație în țară, aceasta funcționează în 3 schimburi și durata de funcționare constituie 22/24 ore. Producția și consumurile tehnologice de energie ale fabricii sunt practic stabile pe parcursul anului.

În calitate de scenariu de proiect se va utiliza varianta integrării instalației de cogenerare în bază de MAI tip PG475B, în cadrul instalației de panificație. Parametrii instalației de cogenerare sunt indicați în tabelul 6.

Tabelul 6. Volumul anual al energiei produse la instalația de cogenerare

Instalație de cogenerare	Puterea instalată	electrică	<i>kW</i>	380
		termică	<i>kW</i>	683
	Volumul producției de energie	electrică	<i>MWh/an</i> <i>(GJ/an)</i>	2850 (10260)
		termică	<i>Gcal/an</i> <i>(GJ/an)</i>	2083,4 (8723,2)

Volumul de energie electrică, neacoperit de instalația de cogenerare, va fi preluat din rețeaua de interes public, iar de energie termică – de la centrala termică existentă (tab. 7 și fig. 10). Instalația de cogenerare este alimentată cu gaze naturale.

Tabelul 7. Consumurile de energie ale întreprinderii

Sursa	Consumuri energetice		
	Energie electrică, <i>kWh/an</i>	Energie termică, <i>Gcal/an</i>	Gaze naturale, <i>mii m³/an</i>
Înainte de implementarea proiectului			
Din rețea	7 500 000	-	1742
Centrala termică existentă	-	7000	-
Total	7 500 000	7000	1742
După implementarea proiectului			
Din rețea	4 650 000 (62%)	-	2020 (950 IC+378 Cuptor nr.2+ 692 CT)
Instalația de cogenerare	2 850 000 (38%)	2083 (29,8%)	-
Centrala termică existentă	-	4917 (70,2%)	-
Total	7 500 000	7000	2020

Din figura 10 ușor se poate observa redirectionarea și modificarea valorii fluxurilor energetice în cadrul întreprinderii în urma implementării scenariului de proiect.

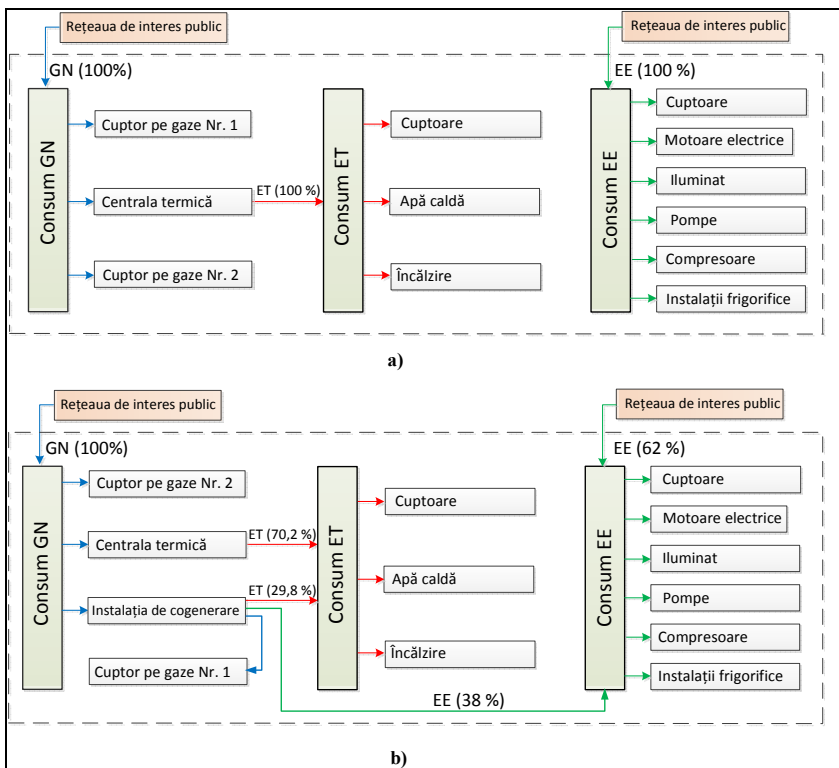


Figura 10. Limitele de contur ale sistemelor energetice pentru analiza economică
a) pentru scenariul de bază; **b)** pentru scenariul de proiect.

În tabelul 8 sunt prezente datele inițiale necesare efectuării calculului de evaluare a eficienței economice a tehnologiei studiate.

Rezultatele calculului au fost obținute cu ajutorul unui program, special elaborat în acest scop, prin aplicarea căruia a fost evaluată eficiența economică a tehnologiei studiate prin metoda determinării cheltuielilor totale actualizate prin aplicarea modelului static-echivalent.

Tabelul 8. Date inițiale de calcul

Indicator	Notație	Unitate	Valoare
Puterea electrică a instalației de cogenerare	$P_{nom,W}$	kW	380
Puterea termică	$P_{max,Q}$	kW	683
Durata de utilizare a puterii maxime	T_M	h/an	7 500
Investiția specifică în instalația de cogenerare	i_{sp}	\$/kW _e	1000
Cota reparației capitale din investiție	k_{rep}	%	30
Resursa unității până la prima reparație capitală	T_{sn}	h	60 000
Durata de studiu	T	ani	14
Tariful curent la gazele naturale	$T_{comb,0}$	lei/ mie m ³	6138
Cota anuală a cheltuielilor O&M din valoarea investiției	$k_{O\&M,0}$	%/an	4,00
Consumul specific de ulei	$k_{ulei,0}$	g/kWh	0,14
Prețul de achiziție al uleiului lubrifiant	$c_{ulei,0}$	lei/l	80,00
Tariful la energia electrică din RIP	$T_{W,0}$	lei/kWh	2,16
Rata de actualizare	i	%/an	11,00
Rata anuală de degradare a capacității de producere	r_{degr}	%/an	0,50
Rata anuală de creștere a consumului specific de comb.	r_b	%/an	0,50
Rata anuală de creștere a costului gazelor naturale	r_{comb}	%/an	6,00
Rata anuală de creștere a cheltuielilor O&M	$r_{O\&M}$	%/an	5,00
Rata anuală de creștere a consumului de ulei	r_v	%/an	0,50
Rata anuală de creștere a prețului uleiului lubrifiant	r_{ulei}	%/an	7,00
Rata anuală de creștere a tarifului la electricitate	r_E	%/an	6,00
Rata de schimb valutar	r_{SV}	lei/\$	20,00

S-au obținut următoarele valori ale cheltuielilor totale actualizate: în scenariul de bază - $CTA_{SB} = 13554$ mii \$, iar în cel de proiect - $CTA_{SP} = 12022,42$ mii \$.

Astfel, economia netă totală actualizată pe perioada de studiu, determinată ca diferența dintre cheltuielile totale aferente scenariul de bază și celui de proiect, va constitui:

$$EcNA = CTA_{SB} - CTA_{SP} = 13554 - 12022,42 = 1531,58 \text{ mii } \$ \quad (9)$$

Valoarea economiilor nete actualizate pe perioada de studiu fiind pozitivă, conform condiției expuse în relația (3), rezultă că proiectul dat este fezabil, iar în cazul implementării acestuia, se vor obține economii nete actualizate de cca. 4 ori mai mari decât valoarea investiției în instalația de cogenerare:

$$EcNA/I_{IC} = 1531,58/380 = 4,03. \quad (10)$$

Durata de recuperare a investiției reprezintă cca 2,7 ani, care este foarte atractivă în comparație cu durata de studiu de 14 ani.

Totodată, în rezultatul calculelor efectuate s-au obținut următoarele valori ale costurilor nivelate ale energiilor produse de instalația de cogenerare: pentru energia electrică - $CNAE_{w,IC} = 0,080$ \$/kWh, iar pentru energia termică - $CNAE_{Q,IC} = 65,39$ \$/Gcal.

Astfel, costul nivelat al energiei electrice produse de instalația de cogenerare $CNAE_{w,IC} = 0,08$ \$/kWh este de cca. 2 ori mai mic decât tariful nivelat al energiei electrice achiziționate din rețeaua publică $TNAE_w = 0,156$ \$/kWh, ceea ce demonstrează definitiv atractivitatea proiectului investițional propus.

Capitolul 4 se finalizează cu prezentarea analizelor de sensibilitate a eficienței economice a tehnologiei CogIntegr cu MAI, la variația duratei de utilizare a puterii maxime, investiției specifice și a puterii nominale a instalației de cogenerare.

S-a dovedit că, indiferent de numărul de schimburi în care activează întreprinderea de panificație, sau de productivitatea cuptoarelor și de valoarea investiției specifice în instalația de cogenerare, aplicarea tehnologiilor CogIntegr în bază de MAI va fi fezabilă, generând în toate cazurile economii importante și costuri nivelate ale energiei electrice produse destul de atractive.

CONCLUZII GENERALE ȘI RECOMANDĂRI

1. Preocuparea la nivel global, legată de diminuarea rezervelor de resurse energetice fosile și a impactului utilizării acestora asupra mediului, a provocat statele lumii, inclusiv și R. Moldova, să găsească soluții de eficientizare a producerii și consumului de energie. O măsură de sporire a eficienței energetice intens promovată în toată lumea este producerea energiei electrice și energiei termice în regim de cogenerare. În acest context țara noastră a adoptat programe și legi care promovează utilizarea cogenerării de înaltă eficiență [2, 5, 6, 7].

2. Problema sporirii eficienței energetice a proceselor de panificație a fost, este și va fi de mare actualitate, deoarece în industria autohtonă de panificație sunt rezerve mari de eficientizare energetică [9,10].
3. Ținând cont de prețul ridicat al energiei electrice în țară și de faptul că aceasta este produsă din gaze naturale, se recomandă utilizarea cuptoarelor de panificație care folosesc în calitate de combustibil gazele naturale și nu energia electrică [10].
4. Studiul efectuat în lucrare a demonstrat că analiza energetică a unui proces sau instalație are un caracter cantitativ și nu ține cont de calitatea energiilor care intervin în sistemul analizat și de capacitățile lor diferite de transformare. Aplicarea analizei exergetice face posibilă identificarea cauzelor care provoacă creșterea ireversibilității termodinamice în procesul analizat, în scopul propunerii măsurilor de diminuare a acestuia și sporirii eficienței energetice în final [8].
5. În lucrare a fost propus și dezvoltat un concept nou de sporire a eficienței energetice a instalațiilor industriale, ce utilizează ca agent termic gazele de ardere, numit conceptul „CogIntegr”. S-a demonstrat că integrarea cogenerării în instalațiile de panificație duce la micșorarea gradului de ireversibilitate a procesului de obținere a agentului termic, sporind eficiența energetică a acestuia cât și a instalației de panificație în ansamblu [1].
6. Conceptul „CogIntegr” poate fi aplicat în orice tip de instalație tehnologică care utilizează în calitate de agent termic gazele de ardere, cu condiția că parametrii proceselor ce decurg în instalație, să corespundă cu parametrii gazelor eșapate de instalația de cogenerare [4].
7. Au fost elaborate metodologiile de evaluare a eficiențelor energetice și exergetice ale proceselor cu gaze care decurg în instalația clasică de panificație și cea de tip CogIntegr, prin utilizarea bilanțurilor energetice și exergetice în calitate de instrumente de analiză. Aceste metodologii pot fi utilizate și pentru evaluarea eficienței energetice a oricărui tip de instalație CogIntegr, indiferent de domeniul industrial de aplicare [3].
8. În lucrare s-a demonstrat că integrarea cogenerării în instalația de cuptor analizată conduce la următoarele efecte pozitive:
 - reducerea gradului de ireversibilitate a procesului de obținere a gazelor cu 14,3 %, respectiv valoarea gradului de perfecțiune termodinamică a procesului considerat va crește proporțional [3];
 - sporirea eficienței energetice a procesului dat cu 10,6 %;

- sporirea randamentului termic al instalației cu 4,6 %; randamentul global al cuptorului devine dublu față de eficiența instalației clasice de panificație.
9. Pentru a simplifica procesul de evaluare a eficienței economice a tehnologiei CogIntegr cu MAI, a fost elaborat un program specializat de calcul cu ajutorul căruia s-a demonstrat fezabilitatea economică a soluției tehnice propuse. Acest program poate fi utilizat pentru evaluarea eficiențelor economice ale tehnologiilor CogIntegr de diferite capacități, indiferent de tipul instalațiilor tehnologice în care urmează a fi integrate.
 10. Studiul economic efectuat în lucrare a demonstrat că aplicarea tehnologiilor CogIntegr în cadrul întreprinderilor de panificație va genera economii nete valoroase, iar costul energiei produse este considerabil sub costul energiei preluate din rețeaua de interes public.
 11. Se recomandă aplicarea tehnologiilor CogIntegr în procesele tehnologice ce presupun utilizarea mai multor vectori energetici din cadrul întreprinderilor industriale, pentru a spori eficiența energetică a acestora și reduce cheltuielile operaționale.
 12. Instalațiile tehnologice de tip CogIntegr dezvoltate în lucrare, se înscriu în categoria *cogenerării de înaltă eficiență*, care conform Directivei UE privind eficiența energetică (anexa II, a) și Legii Republicii Moldova cu privire la energia termică și cogenerare (anexa 1, p.1), urmează a fi promovată.
 13. Rezultatele acestei lucrări sunt utilizate în cadrul Proiectului de cercetare instituțională *Către o autonomie energetică a Republicii Moldova „AUTOEN”* (Proiectul nr. 50 inst., 2015-2018).
 14. Rezultatele științifico-practice obținute în această lucrare sunt implemente în procesul de învățământ la următoarele discipline “Termodinamica tehnică”, “Cuptoare industriale”, “Conservarea energiei și surse regenerabile de energie”, “Energetica generală” (Ciclul I Licență); “Analiza termodinamică a proceselor tehnologice” și “Auditul energetic” (Ciclul II Masterat) în cadrul facultății Energetică și Inginerie Electrică, UTM.
 15. **Problema științifică importantă soluționată** constă în demonstrarea eficienței aplicării conceptului CogIntegr în instalațiile de cuptoare cu recircularea gazelor de ardere, în scopul valorificării potențialului energetic pierdut în procesul obținerii agentului termic, fapt ce a contribuit la eficientizarea energetică a proceselor și instalațiilor de panificație, în vederea aplicării ulterioare a acestui concept pentru alte instalații industriale.

Din această lucrare derivă următoarele sugestii, privind cercetările de perspectivă, cu caracter tehnico-economic:

- Aplicarea analizei exergo-economice pentru evaluarea eficienței energetice și economice a instalațiilor tehnologice de tip CogIntegr.
- Identificarea aplicațiilor tehnologice a instalațiilor de tip Cogintegr în bază de instalații de turbine cu gaze și demonstrarea fezabilității tehnice și economice de integrare a acestora.

Lista lucrărilor publicate la tema tezei

1. Articole în diferite reviste științifice

1.1. în reviste internaționale cotate Index Copernicus International:

1. **C. Chelmenciuc.** *Reducerea ireversibilității proceselor cu gaze de ardere în cuptoare de tip tunel*, Buletinul AGIR, Volumul 3, iulie - septembrie 2015, București, pag. 155-159, **Categoria B+**, ISSN-L 1224-7928, ISSN 2247-3548, Index Copernicus International, 0,33 c.t.
2. C. Guțu-Chetrușca, **C. Chelmenciuc**, A. Tverdohleb, *Eficiența energetică în Republica Moldova. Stare și perspective*, Revista Știință și inginerie, Volumul 23, 2013, pag. 275-280, p-ISSN 2067-7138, e-ISSN 2359-828X, Index Copernicus International, 0,37 c.t.

1.2. în reviste din Registrul Național al revistelor de profil, cu indicarea categoriei:

3. **C. Chelmenciuc.** *Analiza exergetică a procesului cu gaze în cuptoare de tip tunel și în cele cu cogenerare integrată*, Meridian Ingineresc, nr. 1, 2016, pag. 46-50, ISSN 1683-853X, **categoria C**, 0,33 c.t.

2. Articole în culegeri științifice

2.1. culegeri de lucrări ale conferințelor internaționale:

4. **C. Chelmenciuc.** *The thermodynamic benefits of the integration of cogeneration installations in bakery ovens*, 10 th International Conference on Electromechanical and Power Systems. SIELMEN 2015, 8-9 october – Craiova-Chișinău, pp 564 – 567, ISBN 978-606-567-284-0, 0,28 c.t.
5. **C. Chelmenciuc**, C. Guțu-Chetrușca, A. Tverdohleb. *Eficiența energetică în Economia Națională a Republicii Moldova*, Conferința tehnico-științifică internațională “Energie, Eficiență, Ecologie și Educație”, 23-24 mai 2013, Chișinău, pag. 153-156, ISBN 978-9975-71-386-3, 0,25 c.t.

6. **C. Chelmenciuc**, A. Guțu. *Conceptul sistemelor contemporane de alimentare cu căldură a întreprinderilor industriale*, Conferința internațională „Energetica Moldovei-2012”. Aspecte regionale de dezvoltare, 4-6 octombrie 2012, Chișinău, pag. 161-164, ISBN 978-9975-62-324-7, 0,27 c.t.
7. **C. Chelmenciuc**, V. Musteață, A. Guțu. *Increasing energy efficiency in industry of the Republic of Moldova*, 8 th International Conference on Electromechanical and Power Systems. SIELMEN 2011, 13 - 15 octombrie 2011, Chișinău, pp 332 – 335, ISSN 1842-48050, 0,19 c.t.

2.2. culegeri de lucrări ale conferințelor naționale:

8. **C. Chelmenciuc**, V. Musteață, L. Tcaci. *Reducerea ireversibilității proceselor în cuptorul de coacere a pâinii*, Conferința Tehnico-Științifică a Colaboratorilor, Doctoranzilor și Studenților UTM, Volumul 1, 15-23 noiembrie 2013, Chișinău, pag. 361-364, ISBN 978-9975-45-311-0, 0,25 c.t.
9. **C. Chelmenciuc**, C. Cocimari, N. Dzero. *Analiza pierderilor de căldură prin pereții cuptorului de coacere a pâinii*, Conferința Tehnico-Științifică a Colaboratorilor, Doctoranzilor și Studenților UTM, Volumul 1, 22 noiembrie 2013, Chișinău, pag. 365-368, ISBN 978-9975-45-311-0, 0,25 c.t.
10. **C. Chelmenciuc**, C. Guțu. *Sporirea eficienței energetice în brutării*, Conferința Tehnico-Științifică a Colaboratorilor, Doctoranzilor și Studenților UTM, Volumul I, 8 - 10 decembrie 2011, Chișinău, pag. 320 – 323, ISBN 978-9975-45-208-3, 0,25 c.t.

ADNOTARE

Autor – CHELMENCIUC Corina. **Titlul tezei** – *Eficiențizarea energetică a proceselor și instalațiilor de panificație prin integrarea cogenerării*. **Gradul științific solicitat** – Teză de doctor în vederea conferirii titlului științific de doctor în științe tehnice la specialitatea 221.01. *Sisteme și tehnologii energetice*. Chișinău 2016.

Structura lucrării: lucrarea conține o introducere, patru capitole, concluzii generale și recomandări, bibliografie din 153 titluri și include 11 anexe, 159 pagini, 37 figuri și 23 tabele. Rezultatele obținute sunt publicate în 10 lucrări științifice.

Cuvinte cheie: ireversibilitate termodinamică, eficiență energetică, eficiență exergetică, instalație de panificație, instalație de cogenerare, concept „CogIntegr”, grad de perfecțiune termodinamică.

Domeniul de studiu – științe tehnice.

Scopul tezei: este de a demonstra că integrarea cogenerării în procesele de coacere din cuptoarele de tip tunel reduce ireversibilitatea proceselor de obținere a gazelor, sporind eficiența energetică, exergetică și economică a instalațiilor de panificație.

Obiectivele lucrării: studiul metodelor de analiză energetică a proceselor și instalațiilor tehnologice în vederea elaborării unei metode relevante de evaluare a eficienței energetice a instalațiilor tehnologice de tip „CogIntegr”, evaluarea eficienței energetice, exergetice și economice a instalațiilor respective.

Noutatea și originalitatea științifică a lucrării. A fost propus și dezvoltat un nou concept CogIntegr - ce se referă la integrarea tehnologiei clasice de cogenerare într-un sistem tehnologic industrial, ceea ce conduce la sporirea eficienței energetice a acestuia.

Problema științifică importantă soluționată constă în demonstrarea eficienței aplicării conceptului CogIntegr în instalațiile de cuptoare cu recircularea gazelor de ardere, în scopul valorificării potențialului energetic pierdut în procesul obținerii agentului termic, fapt ce a contribuit la eficiențizarea energetică a proceselor și instalațiilor de panificație, în vederea aplicării ulterioare a acestui concept pentru alte instalații industriale.

Importanța teoretică. Teza aduce o contribuție științifică într-un domeniu de mare interes cel al eficienței energetice și promovării cogenerării. Au fost propuse: un concept nou de sporire a eficienței energetice a instalațiilor tehnologice și metodele de evaluare a eficienței energetice, exergetice și economice a acestora.

Valoarea aplicativă a lucrării. S-a demonstrat că integrarea cogenerării, bazate pe utilizarea motorului cu ardere internă, în procesele de panificație îmbunătățește eficiența energetică a acestora, generând economii nete valoroase; s-a dovedit că conceptul propus CogIntegr poate fi aplicat oricărui proces tehnologic industrial, în care în calitate de agent termic sunt utilizate gazele de ardere. De asemenea, a fost elaborat un program de calcul pentru evaluarea eficienței economice a proiectelor de implementare a tehnologiei CogIntegr.

Rezultatele științifice ale tezei sunt utilizate în cadrul Proiectului de cercetare instituțională *Către o autonomie energetică a Republicii Moldova „AUTOEN”* (Proiectul nr. 50 inst, 2015-2018), iar rezultatele științifico-practice obținute în această lucrare sunt implemente în procesul de învățământ la mai multe discipline pentru Ciclurile I și II din cadrul facultății Energetică și Inginerie Electrică, UTM

SUMMARY

Author – CHELMENCIUC Corina. **Title** - *Increasing energy efficiency of the bakery processes and installations by integration of the cogeneration*. PhD thesis for awarding of the scientific title of doctor of technical sciences, specialty 221.01 *Power-producing systems and technologies*. Chisinau 2016.

Thesis structure: The paper consists of an introduction, four chapters, general conclusions and recommendations, 153 references, which includes 11 annexes, 159 pages, 37 figures and 23 tables. The obtained results are published in 10 scientific papers.

Keywords: thermodynamic irreversibility, energy efficiency, exergy efficiency, bakery oven, cogeneration installation, concept “CogIntegr”, degree of thermodynamic perfection.

Field of study – technical sciences.

The purpose of the thesis: to demonstrate that the integration of cogeneration in bakery processes of the tunnel ovens reduce the process irreversibility of obtaining the gas, increasing the energy, exergy and economic efficiency of bakery installations.

Objectives of the paper: the study of energetic analysis methods of technological processes and installations for elaboration of a relevant method for assessing energy efficiency of technological installation of “CogIntegr” type; the assessing of energy, exergy and economic efficiency of those installations.

Scientific novelty and originality of the work. It was proposed and developed a new concept “CogIntegr” - which is referred to integration of classical cogeneration in industrial technological system, which leads to the increase of its energy efficiency.

Important scientific problem solved is to demonstrate that the application of CogIntegr concept allowed to account the lost energetic potential in the obtaining process of the thermal agent in the ovens with recirculation of combustion gases, which contributed to increasing energy efficiency of the processes and installations, with the purpose of subsequent application of this concept for other industrial installations.

Theoretic importance. This thesis brings a scientific contribution in an area of great interest – the energy efficiency and promoting cogeneration. There were proposed: a new conception for increasing the energy efficiency of technological processes and methods for assessing of energy, exergy and economic efficiency.

The practical value of the work. It was demonstrated that the integration of cogeneration based on the use of internal combustion engine, in bakery processes improves their energy efficiency, causing valuable net savings; it was demonstrated that the proposed CogIntegr concept can be applied in any technological process, were are used combustion gas acting as of heating agent. It was also designed a specialized program for assessing economic efficiency of implementation of the CogIntegr technology.

The scientific results of this thesis are used within the Institutional Research Project *Towards Moldova's energy autonomy „AUTOEN”* (Project nr. 50 inst, 2015-2018), and the research results of this thesis are used in the didactic process at many specialties at the Energy and Electrical Engineering Faculty.

АННОТАЦИЯ

Автор – КЕЛМЕНЧУК Корина. **Название** *Повышение энергетической эффективности процессов и установок для выпечки хлебобулочных изделий путём внедрения когенерации.* **Соискание ученой степени** -Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 221.01 – *Энергетические системы и технологии.* Кишинэу 2016.

Структура работы: работа состоит из введения, четырех глав, выводов и рекомендаций, библиография из 153 наименований и включает 11 приложений, 159 страниц, 37 рисунков и 23 таблиц. Результаты исследования опубликованы в 10 научных работах.

Ключевые слова: термодинамическая необратимость, энергоэффективность, эксергетическая эффективность, печь для выпечки хлеба, когенерационная установка, концепция „CogIntegr”, степень термодинамического совершенства

Область исследования – технические науки.

Цель диссертации: доказать, что внедрение когенерации в процессах выпечки в печах туннельного типа снижает необратимость процессов получения продуктов сгорания, повышая энергетическую, эксергетическую и экономическую эффективность установок для выпечки хлеба.

Задачи диссертации: Изучение методов энергетического анализа технологических процессов и установок для разработки подходящего метода оценки энергетической эффективности технологических установок типа „CogIntegr”, оценка энергетической, эксергетической и экономической эффективности соответствующих установок.

Научная новизна работы. Была предложена и разработана новая концепция CogIntegr, которая относится к внедрению классической технологии когенерации в промышленную технологическую систему, что приводит к повышению её энергоэффективности.

Важность решённой научной задачи состоит в доказательстве того, что применение концепции CogIntegr позволяет использовать энергетический потенциал, потерянный в процессе получения теплоносителя в печах с рециркуляцией продуктов сгорания, что способствует повышению энергетической эффективности процессов и установок при дальнейшем применении этой концепции на других промышленных установках.

Теоретическая значимость. В работе делается научный вклад в приоритетную область энергоэффективности и развития когенерации. Были предложены: новая концепция повышения энергоэффективности технологических установок и методы оценки их энергетической, эксергетической и экономической эффективности.

Прикладное значение работы. Было доказано, что внедрение когенерации, базирующейся на использовании двигателя внутреннего сгорания, в процессах выпечки повышает их энергетическую эффективность, создавая существенную чистую экономию; было доказано, что предложенная концепция CogIntegr может быть применена в любом технологическом промышленном процессе, в котором в качестве теплоносителя используются продукты сгорания. Также была разработана специализированная программа для оценки экономической эффективности проектов по внедрению технологии CogIntegr.

Научные результаты работы использованы в рамках Институционального исследовательского проекта "К энергетической автономии Республики Молдова „AUTOEN” (Проект № 50 инст., 2015-2018), а научные и практические результаты, полученные в этой работе используются в процесс обучения по нескольким дисциплинам для I и II уровней на факультете Энергетики и Электрической Инженерии, ТУМ.

CHELMENCIUC CORINA

**EFICIENTIZAREA ENERGETICĂ A
PROCESELOR ȘI INSTALAȚIILOR DE
PANIFICAȚIE PRIN INTEGRAREA
COGENERĂRII**

221.01 “SISTEME ȘI TEHNOLOGII ENERGETICE”

Autoreferatul tezei de doctor în tehnică

Aprobat spre tipar 19.10.16
Hârtie ofset. Tipar RISO.
Coli de tipar 1,75

Formatul hârtiei 60×84 1/16.
Tirajul 50 ex.
Comanda nr. 73

U.T.M., 2016, Chișinău, bd. Ștefan cel Mare, 168.
Secția Redactare și Editare a U.T.M.
2068, Chișinău, str. Studenților, 9/9

© U.T.M., 2016