

UNIVERSITATEA TEHNICĂ A MOLDOVEI
FACULTATEA ENERGETICĂ ȘI INGINERIE ELECTRICĂ

Cu titlu de manuscris

CZU: [620.9+536.7]:664.65(478)(043.2)

CHELMENCIUC CORINA

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

Specialitatea: 221.01 “Sisteme și tehnologii energetice”

Teză de doctor în științe tehnice

Conducători științifici:

MUSTEAȚĂ Valentin

dr. hab., prof. univ., memb. cor. AȘM

ARION Valentin

dr. hab., prof. univ.

Autor:

CHELMENCIUC Corina

Chișinău 2016

© CHELMENCIUC CORINA, 2016

CUPRINS

ADNOTARE (în română, engleză și rusă)	6
LISTA ABREVIERILOR	9
INTRODUCERE	11
1. IMPORTANȚA EFICIENTIZĂRII ENERGETICE A INSTALAȚIILOR DE PANIFICAȚIE.....	19
1.1. Panificația și preocupările legate de eficientizarea energetică.....	19
1.1.1. Evoluția indicilor producției de panificație în R. Moldova.....	19
1.1.2. Etapele și structura consumurilor energetice ale procesului de panificație.....	22
1.1.3. Căile de eficientizare energetică a procesului de coacere a pâinii.....	24
1.2. Studiu documentar privind diversitatea cuptoarelor de panificație.....	28
1.2.1. Descrierea cuptoarelor sub aspectul diversităților constructive și tehnologice.....	28
1.2.2. Evoluția cuptoarelor de panificație fără recircularea gazelor.....	31
1.2.3. Generalități despre cuptoarele de panificație cu recircularea gazelor.....	34
1.2.4. Justificarea alegerii tipului de cuptor pentru studiul efectuat în lucrare.....	37
1.3. Metodologii de evaluare a eficienței energetice a proceselor și instalațiilor tehnologice	38
1.3.1. Metodologia clasică de apreciere a eficienței energetice.....	38
1.3.2. Metoda exergetică de analiză a consumurilor energetice în instalațiile industriale.....	41
1.3.3. Metoda entropică de analiză termodinamică.....	45
1.3.4. Descrierea metodei exergoeconomice de evaluare a eficienței energetice.....	46
Concluzii la capitolul 1.....	48
2. ASPECTE METODOLOGICE CE PRIVESC EVALUAREA EFICIENȚEI ENERGETICE A INSTALAȚIILOR DE CUPTOARE DE TIP COGINTEGR.....	50
2.1. Conceptul integrării cogenerării în instalațiile tehnologice (conceptul „CogIntegr”).....	50
2.1.1. Soluția clasică de producere a gazelor de ardere în cuptoare	50
2.1.2. Ideea și beneficiile integrării cogenerării în instalațiile de panificație.....	54
2.1.3. Tehnologii CogIntegr și argumentarea selectării MAI ca subiect de cercetare.....	56
2.2. Principiile analizei energetice a proceselor de obținere a gazelor de ardere.....	58
2.3. Principiile analizei exergetice a proceselor de obținere a gazelor de ardere.....	61
2.3.1. Analiza exergetică a procesului cu gaze în cuptorul clasic.....	61
2.3.2. Analiza exergetică a procesului cu gaze în instalația de cuptoare de tip CogIntegr.....	63
2.3.3. Metodologia de calcul al pierderilor de exergie în procesul din cuptorul clasic.....	65
2.3.4. Calculul pierderilor de exergie în procesul din instalația de cuptoare CogIntegr.....	67
2.4. Algoritm de calcul al eficienței energetice a instalațiilor studiate.....	68
2.4.1. Fluxurile termice și principiul elaborării bilanțului termic al cuptorului clasic.....	68
2.4.2. Principiul elaborării bilanțului energetic al instalației de cuptoare de tip Cogintegr.....	69
2.4.3. Metodologia de calcul al componentelor bilanțurilor termice.....	71
Concluzii la capitolul 2	74
3. EVALUAREA EFICIENȚEI ENERGETICE ȘI EXERGETICE ALE PROCESELOR ȘI INSTALAȚIILOR STUDIAȚE	76
3.1. Caracteristicile necesare pentru dimensionarea și selectarea instalației de cogenerare.....	76
3.1.1. Descrierea cuptorului de tip PPP – tehnologie clasică de panificație.....	76
3.1.2. Metode și aparate utilizate pentru colectarea datelor experimentale.....	77
3.1.3. Parametrii necesari pentru selectarea instalației de cogenerare.....	79
3.1.4. Selectarea motorului cu ardere internă pentru aplicarea tehnologiei CogIntegr.....	82

3.2.	Evaluarea eficienței energetice a procesului clasic de obținere a gazelor în cuptor.....	84
3.2.1.	Randamentul energetic al procesului de obținere a gazelor în cuptorul clasic.....	84
3.2.2.	Determinarea gradului de perfecțiune termodinamică al procesului analizat.....	85
3.2.3.	Structura pierderilor exergetice ale procesului de obținere a gazelor.....	87
3.3.	Evaluarea eficienței energetice a procesului modernizat de obținere a gazelor.....	88
3.3.1.	Randamentul energetic al procesului cu gaze în cuptorul cu cogenerare integrată.....	88
3.3.2.	Calculul gradului de perfecțiune termodinamică al procesului cu gaze.....	90
3.3.3.	Structura pierderilor exergetice ale procesului modernizat de obținere a gazelor.....	91
3.4	Eficiența energetică a instalației clasice și a celei modernizate de panificație	93
3.4.1.	Calculul randamentului termic al cuptorului clasic.....	93
3.4.2.	Oportunități de sporire a randamentului termic al cuptorului clasic.....	96
3.4.3.	Evaluarea eficienței energetice a instalației de panificație de tip CogIntegr cu MAI.....	97
	Concluzii la capitolul 3	99
4.	FEZABILITATEA ECONOMICĂ A INTEGRĂRII TEHNOLOGIEI DE COGENERARE ÎN INSTALAȚIA DE PANIFICAȚIE.....	101
4.1.	Cadrul metodologic de evaluare a eficienței economice a tehnologiei CogIntegr.....	101
4.1.1.	Metodologia de evaluare a eficienței economice a tehnologiei propuse.....	101
4.1.2.	Metodologia de calcul al costului nivelat al energiei produse.....	105
4.2.	Prezentarea scenariilor studiate.....	107
4.2.1.	Varianta existentă de aprovizionare cu energie a fabricii (scenariul de bază).....	107
4.2.2.	Varianta modernizată de aprovizionare cu energie a fabricii (scenariul de proiect).....	108
4.2.3.	Descrierea datelor inițiale necesare calculului economic și justificarea lor.....	110
4.3.	Evaluarea eficienței economice a soluției tehnice CogIntegr cu MAI.....	112
4.3.1.	Calculul Cheltuielilor totale actualizate (CTA) pentru scenariul de bază.....	112
4.3.2.	Evaluarea CTA pentru scenariul de proiect.....	113
4.3.3.	Analiza fezabilității proiectului investițional de eficientizare energetică.....	115
4.3.4.	Determinarea costurilor nivelate ale energiilor produse în scenariul de proiect.....	116
4.4.	Analiza sensibilității soluției tehnice propuse la variația parametrilor incerti.....	117
	Concluzii la capitolul 4	122
	CONCLUZII GENERALE ȘI RECOMANDĂRI.....	123
	BIBLIOGRAFIE	126
	ANEXE.....	133
A1.	Calculul mărimilor necesare pentru estimarea pierderilor de exergie în procesul cu gaze din MAI.....	133
A2.	Calculul fluxului de căldură pierdut prin pereții exteriori ai cuptorului.....	135
A3.	Cartea de regim a arzătorului cuptorului PPP3.5 4.211.....	138
A4.	Calculul procesului de ardere a gazelor naturale în focarul cuptorului.....	139
A5.	Calculul componentelor bilanțului energetic și exergetic pentru sistemul de producere a gazelor în cuptorul clasic.....	141
A6.	Calculul componentelor bilanțului energetic și exergetic pentru sistemul de producere a gazelor în instalația de panificație de tip CogIntegr.....	144
A7.	Calculul componentelor bilanțului termic pentru cuptorul clasic.....	146
A8.	Calculul cheltuielilor totale în scenariul de proiect.....	147
A9.	Calculul costului energiei termice produse la o sursă de referință.....	150
A10.	Implementarea rezultatelor științifice.....	152

A11. Mențiuni.....	154
DECLARAȚIA PRIVIND ASUMAREA RĂSPUNDERII.....	158
CV-ul AUTORULUI	159

ADNOTARE

Autor – CHELMENCIUC Corina. **Titlul tezei** – *Eficientizarea 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, 41 figuri și 29 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: demonstrarea faptului 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 eficientizarea 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 (Anexa 10).

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, 41 figures and 29 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, where 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 (Anex 10).

АННОТАЦИЯ

Автор – КЕЛМЕНЧУК Корина. **Название** *Повышение энергетической эффективности процессов и установок для выпечки хлебобулочных изделий путём внедрения когенерации, 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, 41 рисунков и 29 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 (Приложение 10).

LISTA ABREVIERILOR

B	Consum de combustibil
CA	Cameră de ardere
CC	Cameră de coacere
CAM	Cameră de amestec
$CNAE$	Cost nivelat al energiei
$CogIntegr$	Instalație tehnologică cu cogenerare integrată
c_p	Căldura specifică a unei substanțe
C_t	Cheltuieli ale anului t
CTA	Cheltuieli totale actualizate
D	Debit de abur
d	Conținut de umiditate al aerului
E	Cantitate de energie produsă sau consumată
$EcNA$	Economia netă totală actualizată pe perioada de studiu
E_x	Exergia
E_x^{aer}	Exergia aerului
$E_x^{g.ev}$	Exergia gazelor evacuate
$E_x^{g.n}$	Exergia gazului natural
$E_x^{g.r}$	Exergia gazelor recirculate
e_x	Exergia specifică
G	Capacitatea cuptorului
h	Entalpia specifică a unei substanțe
$O\&M$	Cheltuieli de operare și mentenanță
i	Rata de actualizare
i_{sp}	Investiția specifică
L	Lucru mecanic produs de MAI
\dot{m}	Debitul masic
MAI	Motor cu ardere internă
P	Pierderi de energie
P_x	Pierderi de exergie
ΔS	Creșterea de entropie în sistemul analizat
s	Entropia specifică a unei substanțe
t	Temperatura unei substanțe
T	Perioadă de studiu
t_{aer}	Temperatura aerului
$t_{ap\grave{a}}$	Temperatura apei de răcire a MAI
T_{ma}	Temperatura termodinamică a mediului ambiant
$TNAE$	Tarif nivelat al energiei furnizate din RIP
$\bar{T}_{T,x}$	Durată recalculată a perioadei de studiu de T ani calendaristici după rata x

$\bar{T}_{T,i}$	Durață recalculată a perioadei de studiu de T ani calendaristici după rata i
p	Presiunea
r	Gradul de recirculare a gazelor
RIP	Rețea de interes public
\dot{V}_g^a	Debit de gaze din camera de ardere
\dot{V}_g^r	Debit de gaze recirculate
\dot{V}_g^t	Debit total de gaze
V_{aer}^0	Volumul teoretic de aer necesar arderii
Q	Cantitatea de căldură
Q_{ar}	Căldura apei de răcire a MAI
Q^{aer}	Căldura introdusă cu aerul necesar arderii
$Q^{g,ev}$	Căldura gazelor evacuate
$Q^{g,n}$	Căldura introdusă cu combustibilul
$Q^{g,r}$	Căldura gazelor recirculate
Q_i	Căldura inferioară de ardere a combustibilului
Q_1	Căldura consumată efectiv pentru coacerea pâinii
Q_2	Căldura consumată pentru aburirea pâinii
Q_3	Căldura consumată pentru încălzirea aerului de ventilație al cuptorului
Q_4	Căldura consumată pentru încălzirea benzii cuptorului
Q_5	Căldura pierdută prin pereții exteriori ai cuptorului
Q_p	Pierderile de căldură
$\sum Q_p^{ca}$	Pierderile de căldură ale camerei de ardere
$\sum Q_p^{cc}$	Pierderile de căldură ale camerei de coacere
Q_p^{cg}	Pierderile de căldură din canalele de gaze
$Q_p^{g,ev}$	Pierderile de căldură cu gazele evacuate
r	Rată anuală de creștere
W	Volum de energie electrică
α	Coeficient de exces de aer
η_{cg}	Randamentul canalelor de gaze ale cuptorului
η_{en}	Randament energetic
η_{en}^{ca}	Randamentul energetic al camerei de ardere
η_{ex}	Randamentul exergetic
η_g	Randamentul global
η_t	Randamentul termic
γ_{ex}^{ehn}	Gradul de perfecțiune termodinamică

INTRODUCERE

Actualitatea și importanța problemei abordate. Încă din cele mai vechi timpuri, pâinea a stat la baza alimentației oamenilor. În diferite țări, pe continente diferite, pregătită din diverse tehnologii și materii prime, pâinea a rămas produsul de top în alimentație, datorită calităților sale nutritive cât a și a costului de producere destul de modest. Pâinea reprezintă acel concentrat de energie, substanțe biologice și elemente chimice, care asigură partea esențială a metabolismului, iar în anumite perioade de timp, la majoritatea popoarelor, pâinea era produsul principal în satisfacerea necesităților alimentare.

Iată de ce, adeseori pâinea devenea unul din scopurile principale în viața atât a oamenilor de rând cât și a conducătorilor țărilor, adică problema producerii pâinii căpăta un aspect social și politic. De aceea creșterii și coacerii pâinii omenirea, pe tot parcursul dezvoltării ei, îi acorda o atenție deosebită.

Pâinea este cel mai solicitat produs alimentar în Republica Moldova, din acest motiv 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 [1]. 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 gaz natural, ceea ce aduce la eliminarea în atmosferă a peste 25 mii tone de gaze cu efect de seră [2].

Procesele tehnologice de producere sunt complexe și mai ales, având în vedere că multe brutării din Republică sunt vechi, eficiența energetică a acestora este scăzută. Prin urmare, a apărut necesitatea unei analize curente a proceselor de coacere a pâinii și elaborării măsurilor de sporire a eficienței energetice în corespundere cu cerințele contemporane.

Sporirea eficienței de utilizare a resurselor energetice în procesele tehnologice reprezintă una din cele mai actuale preocupări în activitatea științifică și inginerescă. Consumul de energie este în continuă creștere, iar rezervele de resurse energetice fosile se epuizează, aceasta duce la creșterea continuă a prețurilor combustibililor și a impactului asupra mediu. Toți acești factori au dus la sporirea numărului de cercetări în domeniul sporirii eficienței energetice în procesele consumatoare de energie, inclusiv și în cele tehnologice.

În majoritatea cazurilor, pentru a aprecia eficiența consumului de energie, se utilizează metoda clasică bazată pe întocmirea bilanțului energetic. Dar cu ajutorul acestei metode se poate de apreciat doar cantitativ modul de utilizare a energiei, nu și calitativ, deoarece, în bilanțul

energetic se includ la egal toți membrii energetici indiferent de calitatea energiei pe care o reprezintă și de posibilitatea lor de transformare în alte forme de energie.

Pentru a înlătura lacunele metodei energetice este necesar ca analiza energetică a modului de utilizare a energiei într-un proces sau instalație tehnologică să fie completată cu analiza exergetică, care, în comparație cu prima, ține cont atât de principiul I al termodinamicii (legea conservării energiei) cât și de al II-lea principiu (capacitățile de transformare ale unor tipuri de energii în altele). Cu ajutorul analizei energetice - exergetice se pot identifica cele mai energointensive procese, stabilirea cauzelor care duc la sporirea ireversibilității acestora (respectiv la diminuarea eficienței energetice) și propunerea de măsuri care conduc la creșterea eficienței energetice a proceselor analizate.

Ținând cont de faptul că R. Moldova reprezintă o țară dependentă de importul de resurse energetice (cca 88 % din consumul de resurse energetice în țară sunt importate [3]), problema consumului rațional și eficient al energiei este foarte stringentă. La moment, în țară, eforturile asupra eficientizării consumurilor energetice sunt concentrate asupra sectorului public, mai puțin asupra celui industrial. Trebuie de remarcat faptul că, majoritatea întreprinderilor industriale mari din țară sunt vechi, cu utilaje tehnologice de o eficiență energetică scăzută. De aceea, în acest sector (mai ales în industria alimentară), sunt mari rezerve de eficientizare a consumurilor energetice [150].

Sporirea eficienței energetice în procesele industriale duce la micșorarea consumului de energie primară și micșorarea prețului de cost al producției fabricate sporind competitivitatea produsului pe piață. Totodată, sporirea eficienței energetice duce la diminuarea dependenței de importul de energie și a impactului asupra mediului.

Eficiența energetică este o preocupare importantă nu numai la nivel național dar și european. Actul legislativ cel mai important, care reglementează domeniul eficienței energetice la nivel european, reprezintă *Directiva 2012/27/UE a Parlamentului European și a Consiliului privind eficiența energetică* [4]. Prezenta directivă prevede un cadru comun de măsuri pentru promovarea eficienței energetice pe teritoriul Uniunii Europene cu scopul de a se asigura atingerea obiectivului principal al Uniunii de 20 % în materie de eficiență energetică până în 2020 și de a deschide calea pentru viitoarea creștere a eficienței energetice după această dată.

În vederea transpunerii parțiale a Directivei 2012/27/UE a Parlamentului European și a Consiliului, Parlamentul R. Moldova a adoptat *Legea cu privire la energia termică și promovarea cogenerării* [5].

În ambele acte legislative, menționate mai sus, se acordă o atenție importantă promovării cogenerării de înaltă eficiență, în scopul diminuării consumului de energie primară. Cogenerarea de înaltă eficiență se consideră cea care îndeplinește următoarele criterii:

- a) producția în sistem de cogenerare de la unitățile de cogenerare asigură economii de energie primară de cel puțin 10%, comparativ cu valorile de referință pentru producerea separată de energie electrică și termică;
- b) producția unităților de mică putere și a unităților de microcogenerare care asigură economii de energie primară poate fi considerată drept cogenerare de înaltă eficiență.

Legea cu privire la eficiența energetică [6], reprezintă un alt act legislativ național în care se stipulează ca unul din principiile domeniului de eficiență energetică „promovarea eficienței energetice prin susținerea programelor de îmbunătățire a eficienței energetice, care prevăd implementarea tehnologiilor performante de producere a energiei, cum ar fi cogenerarea și trigenerarea...”. De asemenea, în Programul Național pentru eficiență energetică al R. Moldova, producerea energiei în regim de cogenerare este prezentată ca una din măsurile de bază cu ajutorul căreia se poate de atins ținta de eficientizare a consumului global de energie primară cu 20 % în anul 2020 față de anul de referință 2009.

Una din cele mai energointensive operații din cadrul procesului tehnologic de producere a pâinii reprezintă coacerea. În cadrul acestei operații se consumă peste 90 % din totalul energiei consumate pentru realizarea procesului de panificație. De aceea, în cazul când se urmărește sporirea eficienței energetice a procesului de panificație, anume coacerea este procesul cu cele mai oportune posibilități de eficientizare energetică.

În contextul celor menționate mai sus, *alegerea temei “Reducerea ireversibilității proceselor cu gaze la coacerea pâinii prin integrarea cogenerării”* a fost condiționată de necesitatea sporirii eficienței energetice și termodinamice a proceselor de coacere a pâinii, prin integrarea unei instalații de cogenerare în instalația de cuptoare, cu scopul reducerii cheltuielilor cu achiziția resurselor energetice a întreprinderilor de panificație.

Scopul și obiectivele tezei

În această lucrare se aduce o contribuție cu caracter științific la soluționarea problemei valorificării potențialul energetic pierdut în procesul obținerii agentului de lucru în instalațiile de cuptoare cu recircularea gazelor de ardere, datorită răcirii acestora în camera de amestec a focarului. Scopul lucrării constă în demonstrarea faptului că aplicarea tehnologiilor de cogenerare integrată în cadrul proceselor de panificație din cuptoarele de tip tunel cu gaze, reduce ireversibilitatea procesului de obținere a agentului de lucru și este fezabilă din punct de vedere termodinamic, energetic și economic.

Obiectivele care conduc la atingerea scopului lucrării sunt:

Obiectivul 1. Analiza stării industriei de panificație în R. Moldova.

Obiective specifice în cadrul obiectivului 1:

- analiza evoluției indicilor producției de panificație în R. Moldova;
- identificarea problemelor legate de eficientizarea consumurilor energetice ale industriei de panificație în țara noastră;
- elaborarea măsurilor de soluționare a acestor probleme.

Obiectivul 2. Studiu bibliografic privind tipurile de cuptoare de panificație și metodologiile de apreciere a eficienței energetice a proceselor și instalațiilor tehnologice.

Obiective specifice în cadrul obiectivului 2:

- clasificarea cuptoarelor de panificație și descrierea celor mai răspândite tipuri de cuptoare cu gaze; identificarea avantajelor și dezavantajelor acestora;
- justificarea alegerii cuptorului cu recircularea gazelor în calitate de obiect de studiu;
- studiul metodologiilor de evaluare ale eficienței energetice a proceselor și instalațiilor tehnologice, avantajele și dezavantajele utilizării fiecărei metode; argumentarea metodologiei care urmează a fi aplicată în lucrare;
- studiul aplicabilității metodei exergetice la evaluarea fezabilității tehnice a proiectelor energetice la nivel mondial și în R. Moldova.

Obiectivul 3. Elaborarea metodologiilor de evaluare ale eficienței energetice și exergetice a proceselor cu gaze în tehnologia clasică de panificație și în cea cu cogenerare integrată.

Obiective specifice în cadrul obiectivului 3:

- identificarea cauzelor ireversibilității proceselor cu gaze în tehnologia clasică de panificație și propunerea măsurilor de reducere a acesteia;
- prezentarea conceptului CogIntegr, esența, avantajele și constrângerile aplicării acestuia în cadrul proceselor tehnologice industriale;
- elaborarea bilanțurilor energetice și exergetice ale procesului de obținere a gazelor în cuptorul clasic și în cel cu cogenerare integrată; prezentarea relațiilor de calcul a tuturor componentelor bilanțurilor cât și a celor de evaluare a eficiențelor energetice și exergetice ale proceselor respective;
- elaborarea bilanțurilor energetice ale instalației clasice de panificație și a celei de tip CogIntegr cu MAI, prezentarea relațiilor de calcul a tuturor componentelor bilanțurilor cât și a celor de evaluare a eficiențelor energetice ale instalațiilor respective.

Obiectivul 4. Evaluarea eficienței energetice și exergetice a procesului privind obținerea gazelor în cuptorul clasic și în cel cu cogenerare integrată.

Obiective specifice în cadrul obiectivului 4:

- culegerea datelor experimentale necesare pentru studiu în cadrul unei întreprinderi importante de panificație din R. Moldova;
- selectarea instalației de cogenerare în bază de MAI compatibilă cu instalația de panificație;

- evaluarea eficienței energetice și exergetice ale procesului de obținere a gazelor în cuptorul clasic și în cel cu cogenerare integrată și analiza comparativă a acestora;
- calculul gradului de ireversibilitate al procesului cu gaze din cadrul tehnologiilor studiate.

Obiectivul 5. Evaluarea eficienței energetice și economice a soluției tehnice propuse.

Obiective specifice în cadrul obiectivului 5:

- evaluarea eficienței energetice ale instalației clasice de panificație și a celei de tip CogIntegr cu MAI și analiza comparativă a acestora;
- elaborarea unui program de calcul specializat cu ajutorul căruia se evaluează fezabilitatea economică a tehnologiei de cogenerare integrată în instalația de panificație studiată în lucrare;
- efectuarea analizei de sensibilitate a soluției tehnice propuse la variația unor parametri incerti.

Metode și mijloace de cercetare

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 2010.

Noutatea științifică a rezultatelor obținute

Teza respectivă aduce contribuții științifico-practice într-un domeniu de mare interes atât la nivel național cât și european și anume eficiența energetică și promovarea cogenerării. 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. Astfel, cogenerarea devine mai mult decât o sursă de producere a energiei, deoarece pe lângă producerea de energie, în instalațiile industriale de tip CogIntegr sunt fabricate și produse tehnologice.

Importanța teoretică și valoarea aplicativă a lucrării

Importanța teoretică a tezei constă în:

- În lucrare pentru prima dată este formulat și dezvoltat conceptul “CogIntegr”, care presupune integrarea cogenerării în procesele tehnologice ca măsură de sporire a eficienței energetice a instalațiilor industriale.
- Pentru instalațiile tehnologice de tip CogIntegr au fost elaborate metodologiile de evaluare a eficienței energetice, exergetice și economice.

- c) 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 de lucru, astfel sporind eficiența energetică a procesului respectiv și a instalației tehnologice în ansamblu.
- d) Analiza exergetică a proceselor care decurg într-un cuptor de panificație de tip tunel cu gaze, a demonstrat faptul că unul din cele mai ireversibile este procesul de obținere a agentului de lucru (gazelor de ardere), în special datorită arderii combustibilului și amestecării gazelor.

Valoarea aplicativă a tezei:

- a) S-a demonstrat că integrarea cogenerării, bazate pe utilizarea motorului cu ardere internă, în procesele tehnologice de panificație îmbunătățește eficiența energetică a acestora, generând economii nete valoroase.
- b) S-a dovedit că conceptul CogIntegr de sporire a eficienței energetice și economice poate fi aplicat în orice proces tehnologic industrial, în care în calitate de agent termic sunt utilizate gazele de ardere.
- c) 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.
- d) Pentru întreaga gamă de capacități de producție a instalațiilor de panificație de tip CogIntegr, dimensionate în lucrare, s-au evaluat valorile economiilor nete și ale costurilor nivelate ale energiilor produse, în cazul integrării acestora la întreprinderea de panificație studiată în lucrare.
- e) A fost elaborat un program de calcul specializat pentru evaluarea eficienței economice a oricărei proiect de implementare a tehnologiei CogIntegr.

Implementarea rezultatelor obținute

- a) Rezultatele acestei lucrări sunt utilizate în cadrul Proiectului *Către o autonomie energetică a Republicii Moldova „AUTOEN”* (Proiectul nr. 50 inst, 2015-2018), unde autoarea participă în calitate de cercetător științific.
- 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 (Anexa II, a) și a Legii R. Moldova cu privire la energia termică și promovarea cogenerării (Anexa 1, p.1).
- 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 obținute

Rezultatele studiilor efectuate în cadrul prezentei teze de doctor au fost prezentate, publicate și discutate în cadrul mai multor evenimente cu caracter științific de nivel național și internațional:

- Ședințele catedrei *Termotehnică și Management în Energetică*, Universitatea Tehnică a Moldovei, Chișinău, Moldova.
- *Conferințele Tehnico-Științifice ale Colaboratorilor, Doctoranzilor și Studenților* din anii 2011, 2013, Universitatea Tehnică a Moldovei, Chișinău, Moldova.
- *Conferința internațională de Sisteme Electromecanice și Energetice, SIELMEN 2011*, 2015, Universitatea Tehnică a Moldovei, Chișinău, Moldova.
- *Simpozionului Științific al Inginerilor Români de Pretutindeni SINGRO 2014*, 23-24 octombrie 2014, Universitatea Tehnică a Moldovei, Chișinău, Moldova.
- *Conferința Națională – multidisciplinară cu participare Internațională, Ediția XIII „Profesorul Dorin Pavel, fondatorul hidroenergeticii românești”*, 7-8 iunie 2013, Centrul cultural „Lucian Blaga” Sebeș, România.
- *Conferința tehnico-științifică internațională “Energie, Eficiență, Ecologie și Educație”*, 23-24 mai, UTM, Chișinău 2013.
- *Conferința Internațională ENERGETICA MOLDOVEI – 2012, Aspecte regionale de dezvoltare*, 4-6 octombrie 2012, Academia de Științe a Moldovei, Chișinău, Moldova.

Sumarul compartimentelor tezei

Teza include introducerea, 4 capitole, adnotarea în limbile română, engleză și rusă, lista abrevierilor utilizate, compartimentul ce ține de concluziile finale ale tezei, lista bibliografică în număr de 153 titluri, 11 anexe. Numărul total de pagini al lucrării este 125 (până la bibliografie), conținând 37 figuri și 23 tabele.

În **Introducere** sunt prezentate aspectele generale privind necesitatea sporirii eficienței energetice a proceselor de coacere a pâinii 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. Tot aici sunt incluse actualitatea și argumentarea alegerii temei de cercetare, scopul și obiectivele tezei, importanța științifică, teoretică și aplicativă a lucrării.

Capitolul 1 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 metodele de eficientizare a acestor consumuri. Este prezentată o descriere a celor mai utilizate cuptoare de panificație, punându-se accent pe promovarea utilizării cuptoarelor pe gaze naturale. De asemenea, 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. Este evidențiată necesitatea utilizării metodei exergetice, pe

lângă cea energetică, pentru a evalua cantitativ și calitativ modul de utilizare a energiei în procesul sau instalația studiată.

În **Capitolul 2** reprezintă partea metodologică a tezei. Sunt expuse cauzele apariției ireversibilității proceselor cu gaze și necesitatea diminuării acestora. Este prezentată soluția clasică de obținere a gazelor în cuptoarele de panificație cu recircularea gazelor și ireversibilitatea asociată acestuia. Este descris conceptul “CogIntegr”, avantajele și constrângerile aplicării acestuia în instalațiile de cuptoare. Este argumentată selectarea tipului de instalație de cogenerare pentru integrare cu instalația de cuptoare studiată în lucrare.

Tot aici sunt prezentate metodologiile propuse de analiză energetică și exergetică ale procesului de obținere a gazelor în instalația clasică de panificație și în cea de tip “CogIntegr”. Capitolul se finalizează cu prezentarea algoritmului de calcul a eficienței energetice a celor două instalații studiate în lucrare.

Capitolul 3 reprezintă partea aplicativă a tezei. În acest capitol sunt prezentate datele experimentale obținute în urma efectuării unor măsurări în cadrul unui proces de coacere a pâinii într-un cuptor de tip PPP, necesare pentru calculul parametrilor motorului cu ardere internă care urmează a fi integrat cu cuptorul. De asemenea, în acest capitol sunt prezentate calculele de evaluare a eficiențelor energetice și exergetice ale proceselor de obținere a gazelor în cele două tipuri de instalații studiate în lucrare, cu determinarea valorilor randamentelor energetice, a coeficienților de perfecțiune termodinamică și a gradelor de ireversibilitate termodinamică a acestora. Totodată, sunt prezentate structura pierderilor de exergie, diagramele Sankey și Grassman pentru procesele analizate. Tot aici sunt prezentate calculele de evaluare a eficienței energetice a celor două instalații studiate în lucrare, cu prezentarea diagramelor Sankey.

În **Capitolul 4** sunt prezentate calculele care demonstrează fezabilitatea economică a tehnologiei “CogIntegr” cu MAI. Rezultatele calculelor au fost obținute cu ajutorul unui soft specializat, special elaborat în acest scop, cu ajutorul căruia a fost evaluată eficiența economică a tehnologiei studiate prin metoda determinării cheltuielilor totale actualizate prin aplicarea modelului static-echivalent. 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.

Concluzii și recomandări. Acest compartiment include o sinteză a rezultatelor obținute, problema științifică importantă soluționată și recomandări privind activitățile planificate pe viitor.

1. IMPORTANȚA EFICIENTIZĂRII ENERGETICE A INSTALAȚIILOR DE PANIFICAȚIE

1.1. Panificația și preocupările legate de eficientizarea energetică a acesteia

1.1.1. Evoluția indicilor producției de panificație în R. Moldova

Procesul de coacere a pâinii a stat la baza dezvoltării civilizației umane. Nu întâmplător, în mitologia vechilor popoare, coacerea pâinii are origini divine [7]. Cercetătorii au demonstrat că istoria pâinii are o vechime de peste 30 mii de ani [8]. Primele evidențe arheologice ale semințelor unor cereale măcinate sub formă de făină datează din era Paleoliticului din Europa. Dar abia peste 20 mii de ani pâinea avea să devină un aliment de bază pentru omenire.

Cu 10 mii de ani în urmă, oamenii au început să cultive grâul și orzul. Aceste culturi au fost răspândite mai târziu în sud-vestul Asiei spre Europa, nordul Africii și subcontinentul Indian, deși unele surse indică apariția acestor culturi mai întâi în Asia Mijlocie [7]. Odată cu cultivarea grâului și orzului, în alte țări ale lumii a început să fie cultivat orezul în sud-estul Asiei, porumbul în America și sorgul în Africa.

Pâinea a avut un rol deosebit de important în procesul prin care omenirea și-a schimbat nu numai alimentația ci și stilul de viață, trecând astfel de la etapa de vânători-culegători la aceea de agricultori. La început, omul întrebuița boabele cerealiere sub formă de terci. Mai apoi boabele au început să fie prăjite preventiv de a fi întrebuițate la prepararea terciului. Cu timpul, cerealele au început să fie măcinate cât mai fin, iar terciul preparat – cât mai dens. Odată ce oamenii s-au învățat să coacă din acest terci lipii, pâinea a devenit pentru ei nu numai alimentul de bază, dar și esența vieții, culturii, religiei, devenind totodată unul din atributele principale în ritualurile divine în multe țări. Nu după mult timp, a apărut și pâinea inclusiv cea dospită. Primele mărturii despre pâinea dospită datează din perioada Egiptului Antic.

De rând cu dezvoltarea tehnologiilor în alte domenii, se perfecționa și tehnologia de producere a pâinii. De la zdrobirea manuală a grăunțelor cu două pietre, proces cunoscut din antichitate, s-a trecut la râșnița manuală, apoi la mori de apă și vânt și s-a ajuns la morile contemporane cu dirijare electronică a proceselor tehnologice. Coacerea pâinii de asemenea s-a soldat cu schimbări esențiale atât în procesul tehnologic, cât și în dotarea cu echipament, atingând un grad de automatizare a procesului tehnologic mai bine de 98 %.

Pe teritoriul ocupat astăzi de țara noastră se poate vorbi despre producerea la scară industrială a pâinii la sfârșitul secolului al XIX-lea și începutul secolului XX, aceasta realizându-se în cadrul armatei, în orașe și ateliere meșteșugărești, care au constituit primele unități de producție de

mare capacitate, dotate cu utilaje la nivelul tehnic al epocii respective. La etapa actuală, în țară activau 42 brutării.

O altă etapă în dezvoltarea industriei panificației în țara noastră, o constituie perioada imediat următoare celui de-al II-lea război mondial, aceasta caracterizându-se prin lărgirea capacității de producție spre a se acoperi pe cale industrială întregul necesar de consum, mecanizarea tuturor operațiilor grele, diversificare gamei de sortimente, ajungându-se în prezent la automatizarea și computerizarea întregului proces tehnologic.

În anul 1947 a fost dată în exploatare la Chișinău prima fabrică de pâine, în baza unei brutării particulare, iar în anul 1960, prin asocierea organizațiilor de profil din capitală, a fost creat Combinatul de panificație [9].

În anii 70 ai secolului trecut a avut loc o automatizare intensivă a proceselor de panificație cu scopul de a îmbunătăți condițiile de muncă și de a spori eficacitatea producției.

La momentul actual, în R. Moldova activează peste 273 brutării, majoritatea din ele fiind private, cu capacități mici și medii de producere.

Industria de panificație este una din ramurile de bază ale industriei alimentare din R. Moldova, care asigură populația cu cel mai vital produs alimentar – pâinea. La rândul său, industria alimentară are o pondere importantă în dezvoltarea sectorului industrial în întregime – de cca 51,6 %, conform datelor statistice prezentate pentru anul 2012 [10].

Ponderea industriei de panificație în totalul producției industriale este de cca. 4 % [11], iar în totalul producției alimentare – 8,8 % (fig. 1.1), dar aceasta nu diminuează importanța panificației în dezvoltarea sectorului industrial, deoarece această ramură a industriei alimentare a fost și va fi una din cele mai necesare, deoarece ține de satisfacerea cerințelor vitale ale omenirii.

Pentru o înțelege cât mai clară a evoluției sectorului de panificație în ultima perioadă de timp, în tabelul 1.1 sunt prezentați diverși indici care caracterizează nivelul de dezvoltare a acestei ramuri pentru perioada 2005 - 2013.

Tabelul 1.1. Indici caracteristici evoluției panificației în R. Moldova [10, 12]

	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Valoarea producției, <i>mln. lei</i>	683	757,2	944,3	1125,6	1021,1	1114,9	1303,7	1370	1494,3
Volumul producției, <i>mii tone</i>	108,4	112,3	122,8	137,5	130,6	129	130	129,3	131,2
Nr. de întreprinderi	295	296	297	285	306	311	284	274	278
Nr. anual al personalului, <i>mii pers.</i>	6,8	6,8	6,9	7,1	6,9	7	7	7,1	6,9

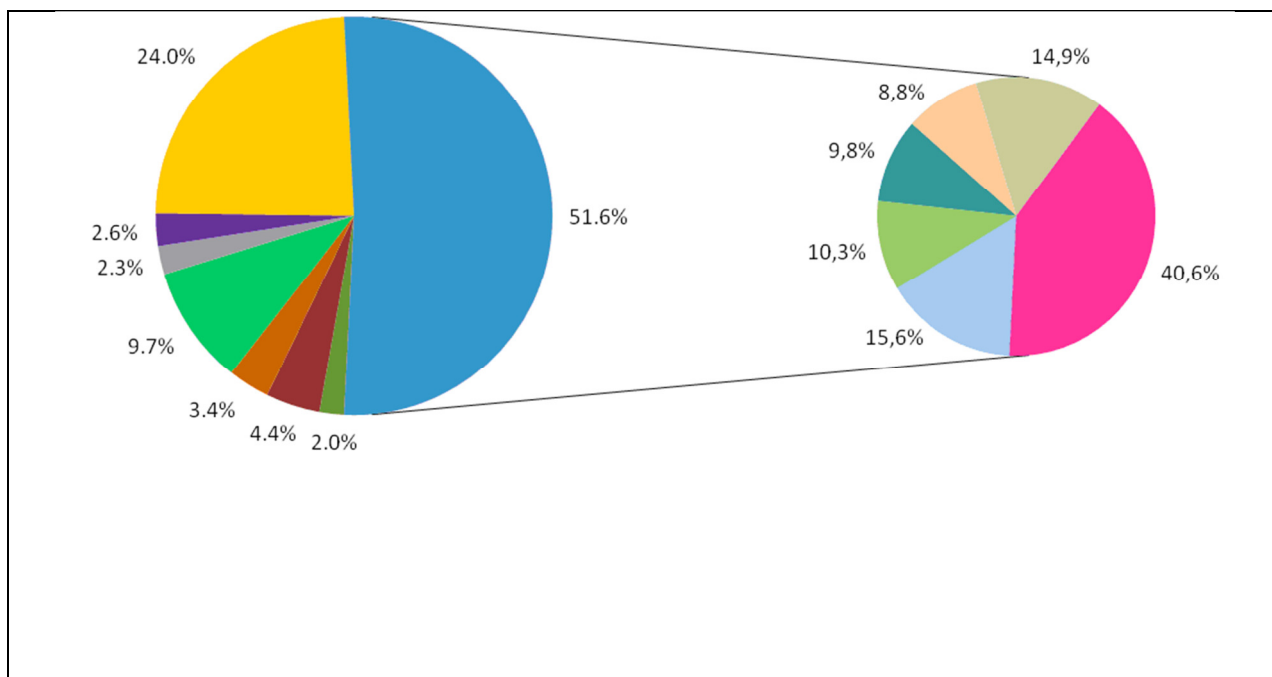


Fig. 1.1. Structura producției în industria prelucrătoare a R. Moldova în 2012 [10]

Dacă analizăm evoluția numărului de întreprinderi de panificație în perioada 2005-2013 (fig. 1.2), observăm o creștere a numărului acestora până în anul 2010 cu cca 5,4 % față de anul 2005, apoi o descreștere până în 2013 sub nivelul numărului de întreprinderi existente în 2005. Această diminuare a fost cauzată în special de criza economică care s-a instaurat în ultima perioadă de timp.

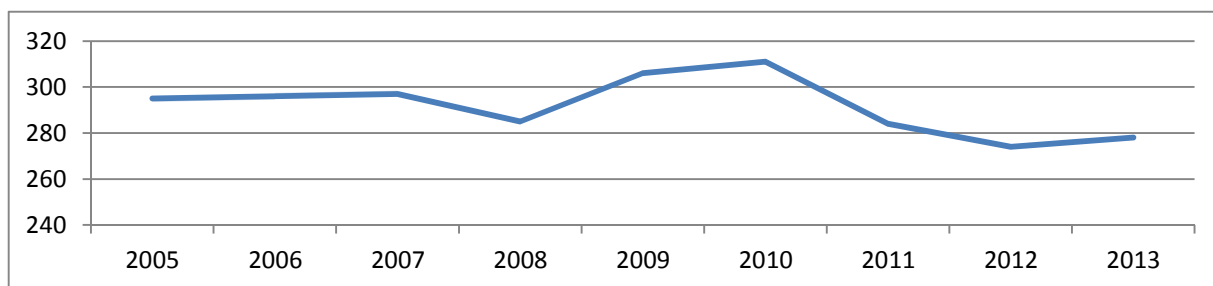


Fig. 1.2. Dinamica numărului de întreprinderi de panificație în perioada 2005-2013

Totodată se observă, că chiar dacă numărul brutăriilor a scăzut, totuși volumul producției (fig. 1.3) cât și valoarea acesteia (fig. 1.4) a crescut datorită creșterii cererii pe piață, ceea ce denotă faptul că unele întreprinderi mici au dispărut de pe piață, iar întreprinderile mijlocii și mari au asigurat necesarul de produse de panificație.

Referitor la dinamica numărului de angajați în sfera de panificație, se atestă o scădere esențială pe parcursul anului 2012 (Fig. 1.5). Posibil că această descreștere a fost cauzată de sporirea nivelului de automatizare a proceselor tehnologice.

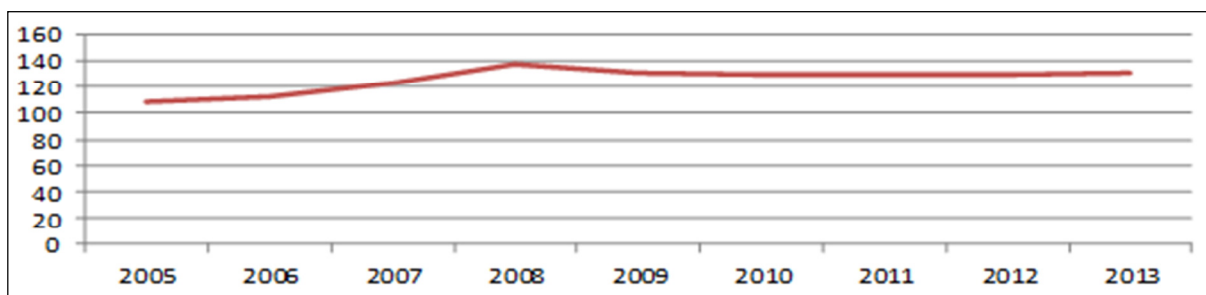


Fig. 1.3. Dinamica volumului producției de panificație în perioada 2005-2013, mii tone

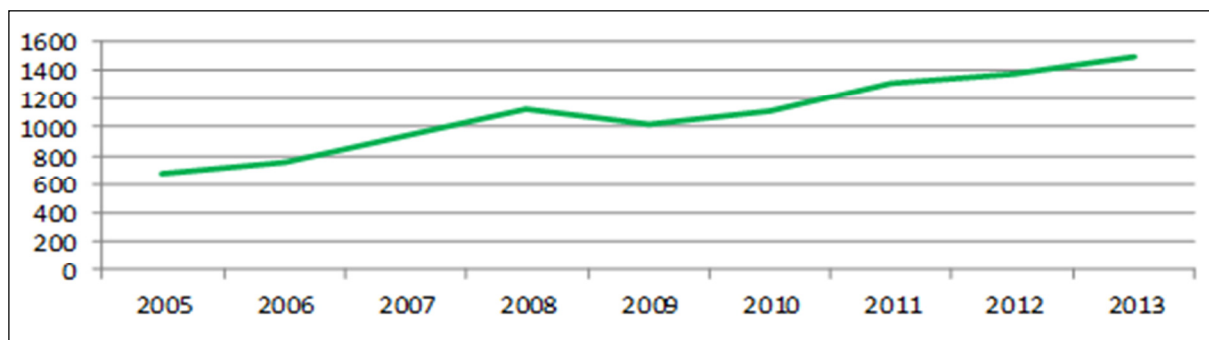


Fig. 1.4. Dinamica valorii producției de panificație în perioada 2005-2013, mil. lei

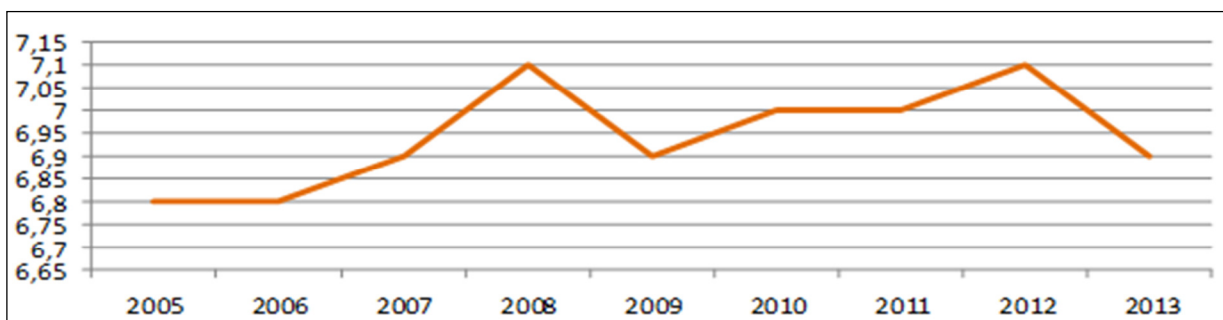


Fig. 1.5. Dinamica numărului personalului angajat la întreprinderile de panificație în perioada 2005-2013, mii persoane

În perioada ianuarie-mai 2015 față de perioada ianuarie-mai 2014, conform [13], industria panificației a înregistrat o creștere a volumului producției cu 8 % (motivând creșterea pe total industrie cu 0,3 %), ceea ce demonstrează faptul că tendințele actuale de dezvoltare a acestei ramuri sunt ascensionale.

1.1.2. Etapele și structura consumurilor energetice ale procesului de panificație

Procesul tehnologic de producere a pâinii este compus dintr-un ansamblu de operații, în urma cărora materiile prime și auxiliare sunt transformate în produs finit. Descrierea procesului tehnologic de coacere a pâinii este prezentată detaliat în [14-18].

Operațiile tehnologice de producere a pâinii pot fi grupate astfel:

- a) operații de control calitativ și cantitativ, depozitare, pregătire și dozare;

- b) operații de preparare a aluatului;
- c) operații de prelucrare a aluatului;
- d) operații de coacere a pâinii;
- e) operații de depozitare a pâinii.

În figura 1.6, este prezentată o schemă detaliată a procesului tehnologic de coacere a pâinii.

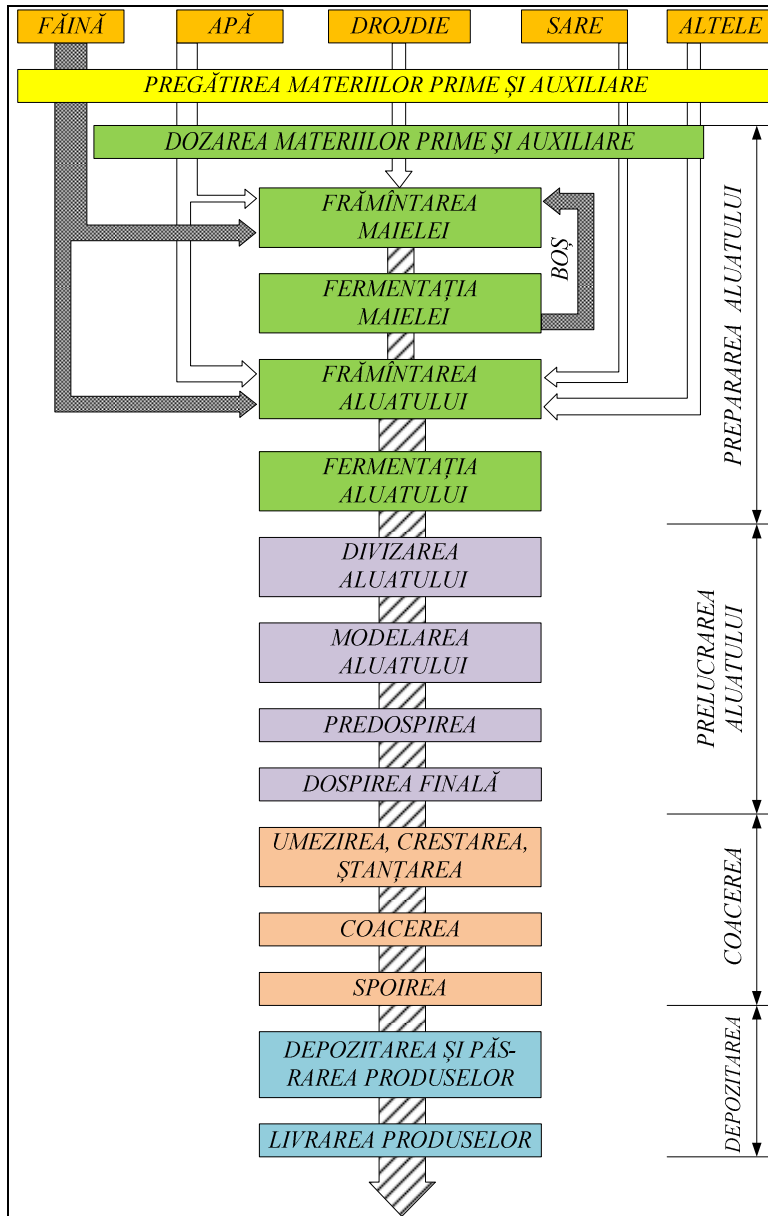


Fig. 1.6. Schema tehnologică a procesului de fabricare a pâinii [19]

Una din cele mai importante etape ale procesului de panificație este *coacerea*.

Aceasta realizează transformarea aluatului în produs finit (pâine). Datorită formării a noi cantități de gaze, precum și a dilatării termice a celor existente în bucata de aluat în momentul introducerii în cuptor, aceasta își mărește volumul, iar în urma coagulării proteinelor și a gelatinizării amidonului, se fixează forma și volumul produsului. Miezul și coaja se formează progresiv.

Regimul operației de coacere se referă la durata coacerii, temperatura la care se realizează coacerea și umiditatea relativă a aerului.

Prima fază de coacere trebuie să decurgă la o temperatură de cca. 100-120°C și la o umiditate relativ mare 75-80%. *A doua fază* trebuie să decurgă la 250-260° C, timp în care se definitivează formarea miezului și a cojii. *Faza finală* - la temperatura de 180-200° C, permițând acumularea substanțelor de aromă în miez și mai ales în coaja pâinii. Durata coacerii depinde de mărimea

bucăților de aluat, compoziția aluatului, modul de coacere (în forme, pe vatră) și tipul de cuptor utilizat. Timpul de coacere al pâinii este între 20-70 minute.

În procesul tehnologic al brutăriilor se utilizează practic toate formele de energie: apa caldă - la prepararea aluatului și spălarea utilajului; aburul – la aburirea pâinii în cuptoare, la uscarea macaroanelor etc.; gazul natural – în cuptoare; energia electrică - în cuptoare și la antrenarea diverselor utilaje; aerul comprimat și frigul – în procese auxiliare.

Coacerea buccăților de aluat este efectuată în camera de coacere a diferitor tipuri de cuptoare la temperaturi cuprinse între 210 – 280 °C, în funcție de mai mulți factori, dintre care în principal masa buccăților de aluat și modul de coacere.

Unii cercetători au făcut o analiză detaliată a proceselor de fabricare a pâinii pe etape, cu scopul de a evidenția operațiile energointensive. Rezultatele analizei sunt prezentate în tab. 1.2.

Tabelul 1.2. Analiza ponderii consumurilor energetice în procesul de panificație [19]

Nr	Etapa procesului tehnologic	Ponderea, %	
		electricitate	căldură
1	Recepție și depozitarea materiei prime	1,5	0,3
2	Recepție și dozare materii prime și auxiliare	4,5	0,8
3	Preparare aluat	13,8	1,4
4	Prelucrare aluat	23	2,4
5	Dospire finală	22,6	1,0
6	Coacere	33,7	93,8
7	Recepționare produse	0,5	0,2
8	Depozitare	0,4	0,1

Cum se observă din tab. 1.2, cel mai mare consum de energie are loc în procesul de coacere, practic toată energia termică introdusă în procesul de producere a pâinii (cca. 93,8%) se folosește în camera de coacere. De aceea, în lucrarea dată se va acorda atenție primordială sporirii eficienței energetice a procesului de coacere a pâinii.

1.1.3. Căile de eficientizare energetică a procesului de coacere a pâinii

Subiectul sporirii eficienței energetice în cuptoarele de panificație a fost și este o preocupare a cercetătorilor, atât în secolul trecut cât și în prezent. Atât problemele legate de eficiența energetică a proceselor tehnologice de coacere cât și căile de soluționare a acestora, au fost abordate în lucrările [2, 19-22].

În țara noastră, cu problematica sporirii eficienței energetice în cuptoarele de panificație, s-au ocupat în special colaboratorii catedrei „Termotehnica” („Termotehnică și Management în Energetică” – în prezent) din cadrul UTM, sub conducerea prof. univ., dr. hab., membru

corespondent AȘM Valentin Musteață. Astfel, temele lucrărilor de cercetare științifică, în acest domeniu, au fost:

- „Utilizarea resurselor energetice secundare în industria de panificație”, executori: prof. univ. V. Musteață, conf. univ. D. Gîscă, tehnician V. Parfeonov.
- „Modernizarea camerei de umezire a cuptorului electric pentru coacerea pâinii cu scopul reducerii consumului de energie”, executori: prof. univ. V. Musteață, conf. univ. D. Gîscă, B. Verzari, E. Negrei; C. Cartofeanu.

La întreprinderile de panificație există rezerve mari de economie a resurselor energetice consumate în toate etapele de fabricare a pâinii. Procesele tehnologice de producere sunt complexe și mai ales, având în vedere că majoritatea brutăriilor din Republică sunt vechi, acestea posedă un șir de posibilități de reducere a consumului de energie:

- trecerea cuptoarelor de coacere de la încălzirea cu electricitate la încălzirea cu gaze;
- recuperarea căldurii aerului umed evacuat din cuptoare;
- raționalizarea sistemului de distribuție a agenților termici la întreprindere;
- încălzirea apei cu colectoare solare;
- utilizarea pompelor de căldură pentru producerea apei calde în baza aerului evacuat din cuptoare, uscătorii, de la ventilarea încăperilor;
- aplicarea cogenerării;
- implementarea reglării sarcinii motoarelor electrice la pompe, ventilatoare, compresoare etc. prin varierea vitezei;
- recuperarea căldurii pâinii fierbinți, de exemplu prin utilizarea răcitoarelor cu vid [23-26].

Urmează o descriere succintă a esenței și beneficiilor implementării fiecărei metode de sporire a eficienței energetice în panificație.

Trecerea cuptoarelor de la încălzirea electrică la încălzirea cu gaz natural

Un cuptor electric cu suprafața de coacere 50 m² are puterea medie de lucru 200 kW, iar cu aceeași suprafață și aceeași productivitate pe gaz - consumul mediu de gaz natural – 23 m³/h [2]. Reieșind din graficul de funcționare - 16 ore pe zi și 330 zile pe an, ele consumă respectiv 1056 MWh/an și 121,4 mii m³ de gaz pe an. Pentru producerea cantității indicate de energie electrică la o Centrală Termoelectrică se consumă peste 313 mii m³ de gaz natural. Trecerea cuptorului de la încălzirea electrică la gaz natural va reduce cheltuielile pentru resurse energetice, la tarifele actuale [27] cu peste 1 mil. lei pe an, sau 20 mii lei per m² pe an.

Recuperarea căldurii aerului și gazelor evacuate

În cuptoarele de coacere a pâinii se utilizează abur cu temperatura 104...110 °C pentru formarea crustei pâinii. Consumul mediu de abur este de 25-30 kg la o tonă de pâine. În procesele de pregătire a aluatului se folosește apă caldă cu temperatura de 40...60 °C, care se încălzește cu

abur în schimbătoare de căldură prin suprafață. Consumul de apă caldă este de cca. 2 m^3 la o tonă de producție. În procesul de coacere din cuptoare se evacua:

- aer umed cu temperatura de $135\text{-}150 \text{ }^\circ\text{C}$ la cele electrice;
- gaze de ardere cu temperatura de $230\text{-}250 \text{ }^\circ\text{C}$ la cele pe gaz natural.

Instalarea recuperatoarelor de căldură pentru încălzirea apei pe contul entalpiei gazelor evacuate permite reducerea consumului de abur la încălzirea apei cu 10% la cuptoarele electrice și $25\text{-}30 \%$ la cele pe gaz. De asemenea, căldura gazelor de ardere evacuate din cuptoarele de pâine poate fi utilizată și pentru uscarea unor produse de patiserie cum ar fi covrigii și pesmeții. De exemplu, utilizarea căldurii gazelor de ardere, în locul căldurii aburului, la uscarea pesmeților, poate reduce consumul de energie de la $1,97 \text{ GJ/t}$ de pesmet la $0,11 - 0,19 \text{ GJ/t}$ [19].

La utilizarea pompelor de căldură pentru recuperarea deplină a căldurii gazelor evacuate, cu condensarea vaporilor din ele, la cuptoarele încălzite cu gaz natural se poate încălzi toată apă necesară, evitând consumul de abur în acest scop.

Raționalizarea sistemului termoenergetic al întreprinderii

Brutăriile vechi au un sistem termoenergetic complex bazat pe o Centrală Termică cu cazane de abur. Aburul cu presiunea de $13\text{-}20 \text{ bari}$ și temperatura de $180\text{-}350 \text{ }^\circ\text{C}$ este folosit în mare parte pentru încălzirea apei tehnologice până la $40\text{-}60 \text{ }^\circ\text{C}$ și a apei din sistemul de încălzire - până la $90\text{-}110 \text{ }^\circ\text{C}$. Pentru aburirea pâinii se utilizează abur cu presiunea $1,2 \text{ bar}$. Consumatorii sunt amplasați la distanțe mari de la sursă, rețelele fiind în stare insuficientă, cu termoizolația deteriorată. Condensatul tehnologic în multe cazuri nu se returnează. În Centralele Termice apa de purjă se aruncă în canalizare fără a fi răcită. În Centrale și rețele sunt scurgeri de abur. Instalarea cazanelor de apă fierbinte nemijlocit la consumator și producerea aburului în cantitățile necesare și la parametrii necesari ar reduce considerabil consumul de gaz natural și cantitatea de energie electrică pentru serviciile proprii ale sistemului [28].

Încălzirea apei cu colectoare solare

O economie considerabilă de gaz natural se poate obține prin utilizarea colectoarelor solare pentru încălzirea apei tehnologice. Colectoarele amplasate pe acoperiș pot asigura temperaturi ale apei de cca. $40 \text{ }^\circ\text{C}$ practic anul întreg.

Aplicarea cogenerării

Brutăriile funcționează anul întreg cu productivitatea practic constantă. Puțin variază și sarcinile electrică și termică. Prin urmare, o instalație cu cogenerare, în baza unui motor cu ardere internă pe gaz natural, la așa obiect poate funcționa cu un coeficient mare de utilizare a puterii instalate, ceea ce ar reduce prețul de cost al energiilor produse. În cazul utilizării

instalațiilor de cogenerare rezultă o economie de combustibil, în comparație cu generarea separată a energiei electrice și căldurii, de 25-40 %. Anume acestei tehnologii, în lucrarea dată, i se va acorda atenția primordială.

Economisirea energiei electrice

O parte din agregatele acționate de motoare electrice, cum ar fi pompe, ventilatoare, compresoare, funcționează cu sarcina variabilă. Folosind pentru reglarea sarcinii acestora convertoare de frecvență se poate reduce consumul de energie electrică ale acestor utilaje cu 10-30 %. Deși consumul de energie electrică pentru iluminat la brutării este cu mult sub 10 % din total, înlocuirea becurilor incandescente cu lămpi energoeficiente, utilizarea senzorilor de mișcare pentru aprinderea și stingerea luminii în încăperile cu aflarea periodică a personalului ș.a., ar permite economisirea unei cantități de energie.

Recuperarea căldurii pâinii fierbinți

Procesul clasic de răcire a pâinii este neautomatizat. Produsele de panificație scoase din cuptor sunt trecute prin conveyer pe mese speciale. Mai apoi, muncitorii așează pâinea pe niște benzi speciale, după care, produsele de panificație sunt trecute în depozitul de pâine. Scopul depozitării este răcirea pâinii în condiții optime și păstrarea calității ei pe durata depozitării. Procesul este practic manual, de aceea nu prezintă o eficiență maximă, la fel spațiul fiind utilizat nerațional.

În mod tradițional, pâinea se răcește prin convecție liberă sau forțată în aer liber, astfel, căldura degajată în procesul de răcire se pierde în mediul ambiant [16]. În ultima perioadă de timp, în Germania, Italia, Franța și alte țări a căpătat răspândire metoda de răcire a pâinii cu ajutorul răcitoarelor cu vid.

Aparatul de răcire cu vid reprezintă în sine o cameră ermetică, unde se localizează toate utilajele. Camera este dotată cu sistem de răcire și de vid. Sistemul de vid asigură condițiile necesare de vid și captare a vaporilor formați. Vidul în cameră poate fi obținut cu ajutorul unei pompe de vid. Vaporii formați în urma răcirii produselor de panificație nu se elimină în mediul ambiant, ci se condensează pe suprafața unui condensator cu agent frigorific. Când pâinea atinge temperatura de 12 – 17 °C, ea se depozitează în cameră frigorifică de păstrare.

Avantajele răcirii pâinii în mediu vidat [20]:

- recuperarea căldurii pâinii degajate în procesul de răcire (cca. 2,5 – 3,5 % din energia consumată pentru procesul de coacere a pâinii) și utilizarea ulterioară a acesteia pentru efectuarea altor procese tehnologice;
- scurtarea duratei de răcire a pâinii cu până la 95%;

- îmbunătățirea volumului și structurii miezului pâinii;
- mărirea duratei de păstrare a pâinii, pâinea astfel răcită poate fi păstrată o lună la temperaturi de +5 °C în frigidere obișnuite, iar dacă aceasta este împachetată în ambalaje vidate, atunci durata de păstrare se mărește până la 3 luni.

Astfel, utilizarea metodei de răcire a pâinii cu vid, permite răcirea rapidă a pâinii (în cca. 4-5 min), cu un consum redus de energie, asigurând o calitate înaltă a produsului și totodată va dispărea necesitatea existenței unui spațiu necesar în cadrul întreprinderii pentru răcirea pâinii.

1.2. Studiu documentar privind diversitatea cuptoarelor de panificație

1.2.1. Descrierea cuptoarelor sub aspectul diversităților constructive și tehnologice

Cuptorul reprezintă o construcție realizată din cărămidă, metal sau lut pentru efectuarea proceselor tehnologice de copt.

Elementele de bază ale unui cuptor sunt: camera de coacere, vatra, banda transportoare, sistemul de încălzire, instalația de aburire, carcasa cuptorului, aparatele de măsură și control. O descriere a tuturor elementelor enumerate este prezentată detaliat în [14].

Camera de coacere este compusă din vatră, boltă, pereți laterali, spațiu de coacere, deschideri pentru încărcarea semifabricatelor și descărcarea pâinii coapte. În această cameră are loc coacere semifabricatelor din aluat, de aceea aici trebuie asigurate condiții de temperatură și umiditate necesare desfășurării procesului de coacere.

Sistemul de încălzire realizează arderea combustibilului și transmiterea căldurii gazelor de ardere în camera de coacere. El este compus dintr-un focar, în care are loc arderea combustibilului și un sistem de transmitere a căldurii în camera de coacere (țevi de apă-abur sau canale de gaze). În cazul cuptoarelor electrice, sistemul de încălzire este compus din rezistențe electrice așezate deasupra și sub vatră.

Instalația de aburire creează un mediu umed în spațiul de coacere, necesar în prima etapă de coacere. Ea este compusă din tuburi perforate prin care se introduce abur de presiune joasă.

Aparatele de măsură și control constau din termocupluri care măsoară temperatura din camera de coacere și transmit informația la sistemul de comandă al arzătorului sau la tabloul de control.

Cinetica procesului termotehnologic de coacere a pâinii determină în linii generale particularitățile constructive de bază ale cuptorului necesare pentru realizarea acestui proces. Aceste particularități pot fi evidențiate prin criteriile de clasificare, care se află într-o modificare continuă.

Urmează un sumar al criteriilor de clasificare a cuptoarelor de panificație [14, 16, 29-31].

Clasificarea cuptoarelor de panificație:

a) în funcție de destinația tehnologică:

- *cuptoare universale*, care permit coacerea oricărui tip de pâine;
- *cuptoare speciale*, pentru coacerea covrigilor, produselor de patiserie, pesmeților ș.a.;

b) în funcție de productivitate:

- *mică*, la care suprafața de coacere este mai mică de 8 m²;
- *medie*, la care suprafața de coacere este între 8 și 25 m²;
- *mare*, la care suprafața de coacere este mai mare de 25 m²;

c) după numărul de deschideri pentru introducerea pâinii:

- cu *o singură deschidere*, prin aceasta are loc atât introducerea aluatului cât și scoaterea pâinii coapte;
- cu *două deschideri* amplasate în capetele opuse ale camerei de coacere, printr-un capăt se încarcă semifabricatele, iar prin altul se descarcă pâinea coaptă;

d) după modul de încălzire a camerei de coacere:

- 1) *cu încălzire directă a camerei de coacere*, la care camera de coacere funcționează și ca focar, coacerea alternând cu încălzirea, acestea fiind cu:
 - *încălzire regenerativă*, în care combustibilul se arde direct în camera de coacere, ultima acumulează căldura gazelor de ardere și ulterior cedează această căldură semifabricatelor (cuptorul de cărămidă);
 - *sistem de încălzire vertical cu gaze de ardere*, la care gazele naturale se ard direct în camera de coacere;
- 2) *cu încălzire indirectă a camerei de coacere*, la care camera de coacere este separată de focar, acestea fiind cu:
 - *încălzire prin canale*, la care căldura se transmite camerei de coacere prin intermediul canalelor prin care circulă gaze de ardere obținute în procesul de ardere a combustibilului în focarul cuptorului; aceste cuptoare se numesc cuptoare tunel, care la rândul său pot fi cu sau fără recircularea gazelor de ardere (cuptoare de tip **PPP** – Cehia; **FTL, HPP, GGR, PHS, PHK** – Rusia; **Winkler, BN** – Germania, **Orlandi** – Italia; **Gostol** - Slovenia);
 - *încălzire convectivă*, la care semifabricatele se coc pe baza căldurii aerului încălzit care circulă într-un circuit închis în camera de coacere;
 - *încălzire radiativ-convectivă*, la care încălzirea semifabricatelor are loc de la canalele de gaze cu ajutorul încălzirii convective cu aer cald;
 - *încălzire abur-apă*, cu ajutorul tuburilor Perkins (cuptorul **Dampf** și **HPA-40** - Rusia);
 - *încălzire combinată*, dotate cu canale de gaze și tuburi Perkins;
 - *încălzire cu abur produs în cazane de abur*;
 - *încălzire electrică*, în calitate de sursă de căldură se utilizează energia electrică (**P – 119M, -104** - Rusia);

e) după modul constructiv al vetrei:

- cu vatră staționară (fixă);
- cu vatră mobilă (bandă rulantă);

- f) după lățimea vetrei:
- *înguste*, la care lățimea vetrei este mai mică de 1500 mm;
 - *medii*, la care lățimea vetrei este în domeniul 1500 - 2100 mm;
 - *late*, la care lățimea vetrei este mai mare de 2100 mm.
- g) după tipul energiei utilizată:
- cu combustibil: solid, lichid sau gazos;
 - electrice: cu energie electrică;
 - combinate: cu combustibil și energie electrică;
- h) după modul de funcționare:
- cu funcționare continuă;
 - cu funcționare discontinuă.

Ca atare, practic toate tehnologiile descrise anterior utilizează sisteme de încălzire prin radiație-convecție. Acesta este procedeul clasic. Au fost elaborate însă și tehnologii noi, care totuși nu au căpătat o răspândire industrială, iar utilizarea lor se face în cazuri unice [14, 32]:

- coacere cu ajutorul radiațiilor infraroșii;
- coacere în atmosferă de vapori;
- coacere cu ajutorul curenților de înaltă frecvență;
- coacere cu încălzire combinată.

După cum s-a menționat anterior, procesul tehnologic de coacere a pâinii în cuptoarele contemporane este un proces complex, însoțit de un consum mare de resurse energetice. Reducerea acestor consumuri se află în continuare în atenția cercetătorilor, care încearcă să perfecționeze utilajul termic în industria de panificație. Scopul final al acestor lucrări este dirijat spre elaborarea instalațiilor de cuptoarelor, care ar permite producerea pâinii de calitate ridicată cu un consum de energie redus. De obicei, cuptoarele cu gaze sunt cu încălzire indirectă a camerei de coacere, adică acestea au focarul separat de camera de coacere în comparație cu cuptoare cu încălzire directă.

Cele mai răspândite cuptoare de panificație cu gaze în spațiul euro-asiatic sunt [14, 33-38]:

- cuptoare încălzite cu gaze de ardere fierbinți, fără recirculare, cu o singură deschidere (de tip FTL-2,-20; HPP-25, GGR-1 ș.a.);
- cuptoare încălzite cu recircularea gazelor uzate, de tip tunel (de tip PHS-25,-40; PPP; BN-25,-50; Orlandi; Winkler; Gostol; Laser, ș.a.).

În subcapitolul următor se va face o analiză a cuptoarelor care utilizează în calitate de agent termic gazele de ardere. Argumentarea selectării acestei tehnologii de panificație va fi expusă în subcapitolul 1.2.4.

1.2.2. Evoluția cuptoarelor de panificație fără recircularea gazelor

Orice cuptor de panificație, indiferent de tehnologie, trebuie să asigure:

- creșterea corespunzătoare a volumului și menținerea formei pâinii;
- obținerea unui miez uniform și poros;
- obținerea unei coji lucitoare;
- obținerea unui gust și aromă plăcut.

Toate aceste cerințe pot fi satisfăcute cu succes cu ajutorul cuptoarelor cu gaze.

În cazul cuptoarelor fără recircularea gazelor, gazele de ardere fierbinți, obținute în urma arderii combustibilului în focar, circulă printr-o rețea de canale (de încălzire) pe care le încălzesc și care, la rândul lor, încălzesc camera de coacere. Circulația gazelor prin canale are loc datorită presiunii create prin tiraj natural. Canalele de gaze pot fi de secțiune rectangulară sau circulară. Canalele prin care circulă gaze de ardere cu temperatură peste 800 °C se confecționează din argilă sau cărămidă refractară, iar cele prin care circulă gaze de ardere cu temperatură sub 800 °C, se confecționează din tablă din fontă sau oțel.

Dacă ne referim la cuptoarele de panificație utilizate în aplicații industriale, primul tip de cuptor utilizat în acest scop a fost cuptorul din zidărie (numit și cuptor de pământ), care reprezintă cel mai vechi tip de cuptor întâlnit în țara noastră (fig. 1.7). Aceste tipuri de cuptoare se utilizează și în prezent în multe gospodării țărănești, dar la dimensiuni de gabarit reduse.

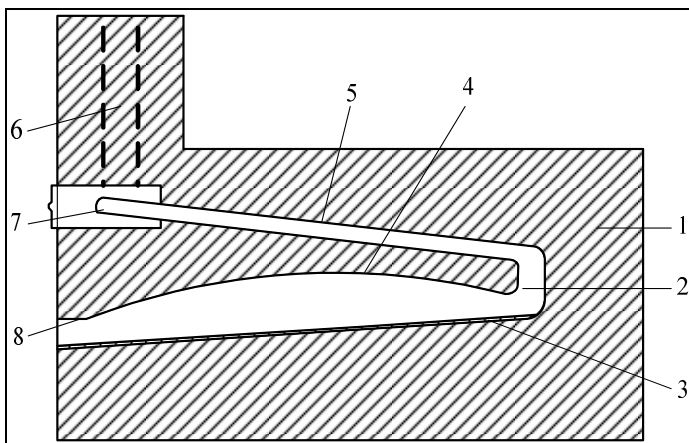


Fig. 1.7. Cuptor din zidărie [33]:

- 1 – carcasă din zidărie; 2 – cameră de coacere;
3 – vatră; 4 – boltă; 5 – canale de fum; 6 – colector de gaze;
7 – tufecuri; 8 – ușă.

Camera de coacere a acestui cuptor funcționa ca și focar, încălzirea camerei de coacere efectuându-se prin arderea combustibilului (gaze naturale sau motorină) cu ajutorul injectoarelor.

Gazele de ardere rezultate din arderea combustibilului cedau căldura suprafețelor interioare ale cuptorului și ulterior erau dirijate spre coș prin canale de fum 5. Închiderea canalelor de gaze se făcea cu tufecurile 7.

Cuptorul era dotat cu o ușă de alimentare prin care se făcea încărcarea și descărcarea produselor.

Suprafața vetrei acestui cuptor putea fi 8 – 12 m², iar productivitatea 2 – 3 t/24 h. Randamentul tehnologic al acestor cuptoare este destul de mic 0,3-0,5 [14].

Avantajul acestor cuptoare consta în faptul că se putea realiza un regim corespunzător de temperatură în camera de coacere (la început mai ridicată, iar apoi mai joasă), astfel, pâinea obținea un gust plăcut și aromă. Dar, totodată însă din cauza dezavantajelor acestora ca: productivitate redusă, încălzire anevoioasă, muncă multă, consum mare de combustibil și murdărirea cojii, au dus la excluderea acestora din exploatare industrială și au forțat savanții să proiecteze noi tipuri de cuptoare, care au productivitate, randament, grad de igienizare și mecanizare (automatizare) mai sporit.

În continuare se va face o caracterizare succintă a două dintre cele mai răspândite tipuri de cuptoare încălzite cu gaze de ardere fierbinți – FTL-2 și HPP-25.

Cuptorul FTL-2. Primul cuptor de acest tip a fost construit pentru prima dată în 1944 de către savanții ruși Krasnopevțev și Lavrov, iar de atunci cuptorul a suferit numeroase re tehnologizări. Acest tip de cuptor a căpătat o mare răspândire în secolul trecut, pe întreg teritoriul spațiului ex-sovietic și nu numai (de exemplu în România). La moment, se utilizează pe larg variante modernizate ale acestor tipuri de cuptoare și anume **FTL-20** și **FTL-2-66** (fig. 1.8).

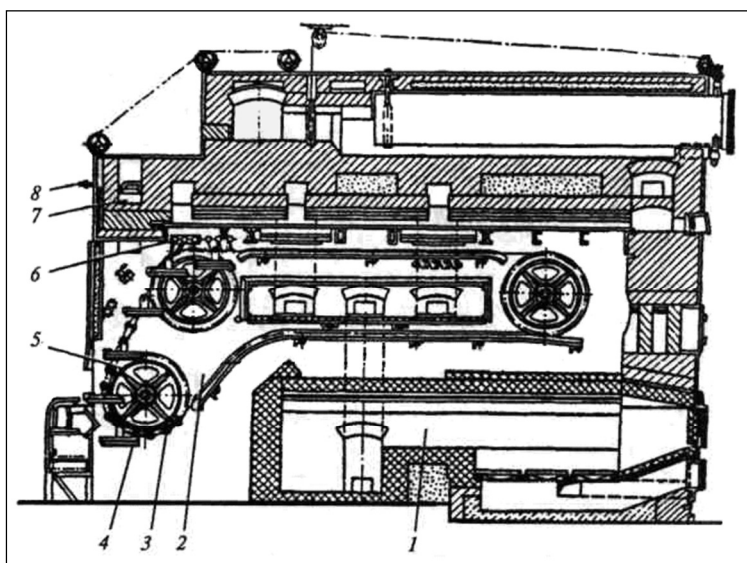


Fig. 1.8. Cuptor FTL-2-66 [35]:

- 1 - focar; 2 - camera de coacere; 3 - lanț conveier;
- 4 - vetre-leagăn; 5 - roată; 6 - tuburi perforate de abur;
- 7 - canal de evacuare a aburului neutilizat; 8 - șiber.

Acest cuptor poate utiliza în calitate de combustibil atât gaze naturale cât și combustibil solid (cărbone, lemne).

În interiorul camerei de coacere 2 se mișcă două lanțuri circulare paralele fără sfârșit 3 pe care sunt agățate vetrele leagăn 4. Încălzirea camerei de coacere se face prin circulația gazelor de ardere obținute prin arderea combustibilului în focarul 1. Gazele de ardere cu temperatura de cca. 1000 °C, circulă în canalul principal care este căptușit cu cărămidă refractară, apoi acestea,

prin două canale orizontale și paralele trec în canalele verticale amplasate de o parte și de alta a camerei de coacere, cedând căldura pereților camerei de coacere. Pentru umezirea camerei de ardere, aburul este produs în 2 generatoare încălzite cu gaze evacuate la coș. Lanțurile au o mișcare pășitoare, adică înaintează cu un pas, după care staționează. Astfel, leagănele sosesc pe rând în dreptul deschiderii de alimentare unde se opresc și se execută operațiile manuale de

descărcare a pâinii deja coapte și de încărcare cu aluat a leagănelor. Timpul de parcurgere a întregului circuit constituie timpul de coacere. Aria suprafeței de coacere a acestui cuptor constituie 13 m², iar capacitatea de coacere a acestuia - 7 t/24 ore.

În varianta modernizată a cuptorului au fost efectuate modificări la circuitul gazelor de ardere, generatorul de abur și camera de umidificare, în comparație cu prima variantă a cuptorului – **FTL-2** [14]. De asemenea, în varianta modernizată, între ramurile lanțurilor sunt trei canale de gaze, față de două canale în varianta veche, obținându-se două circuite de gaze, unul în fața cuptorului și altul în spatele acestuia. Au mai fost montate două șubere pe aceste două circuite cu ajutorul cărora se poate regla debitul de gaze și deci temperatura din zona de alimentare cu aluat și din următoarea zonă de coacere. Astfel, această modificare permite o reglare mai bună a temperaturii în diferite zone ale camerei de coacere.

În tehnologia veche, generatoarele de abur ale cuptoarelor FTL-2, erau montate în partea de sus a cuptorului, iar în variantă modernă, acesta este amplasat în de focar. Astfel, s-au diminuat pierderile de căldură prin transportarea gazelor de ardere la generatorul de vapori.

Pentru diminuarea pierderilor de abur prin ventilație, la varianta modernizată (cuptor **GGR-1**), porțiunea de lanț pe care se realizează prelucrarea higrotermică a fost scoasă în afara camerei de coacere, într-o precameră, în care sunt amplasate țevile perforate de abur.

Cuptorul HPP-25 (fig. 1.9). Acest tip de cuptor a fost elaborat în baza modelului FTL-2 de către savanții ruși I. Lifanțev și S. Steapin, cu scopul majorării productivității acestuia fără modificări esențiale ale dimensiunilor de gabarit.

Deosebirea dintre aceste două cuptoare constă în lungimi diferite ale lanțurilor de care sunt agățate vetrele leagăn. Astfel, practic la aceleași dimensiuni de gabarit ale cuptoarelor (tab. 1.3), în primul cuptor încăp 24 leagăne, iar

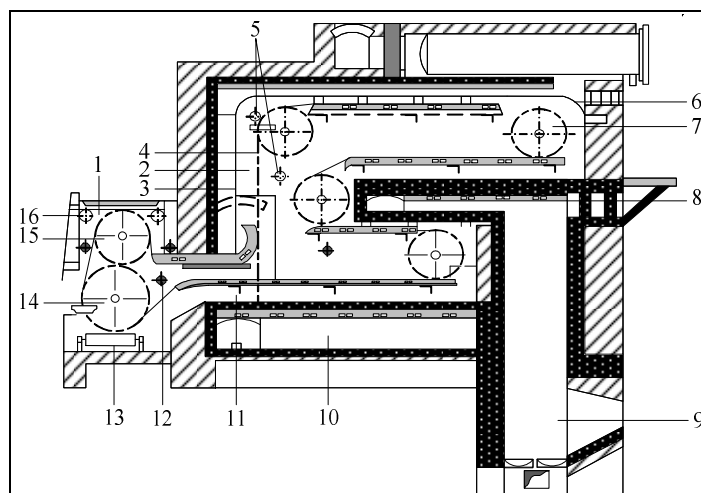


Fig. 1.9. Cuptor HPP-25, [30]:

1 – camera de umezire; 2, 6, 8, 10, 11 – canale de gaze; 3 – camera de coacere; 4 – lanț cu vetre-leagăn; 5, 16 – țevi perforate de abur; 7 – motor; 9 – focar; 12 – țevă cu duze pentru apă; 14 – roată de lanț motor; 15 – roată de lanț întindere.

într-al doilea – 43 leagăne. Respectiv și productivitatea cuptorului HPP-25 este mai mare, ocupând un spațiu similar în sala de coacere ca și cuptorul FTL-2. Descrierea detaliată a

funcționării acestui tip de cuptor este prezentată în [30, 34, 35]. În tab. 1.3. este prezentată dinamica pozitivă de evoluție a modernizării cuptorului FTL.

Avantajul cuptoarelor încălzite cu gaze fierbinți constă în faptul că acestea pot utiliza practic orice tip de combustibil și pot fi utilizate pentru coacerea unei varietăți largi de produse de panificație. Însă dezavantajul acestora constă în faptul că este complicat de automatizat procesul de încărcare a semifabricatelor și descărcare a pâinii coapte, de aceea pot apărea probleme în procesul tehnologic în cazul când brutăria lucrează în două schimburi. Alt dezavantaj constă în faptul că este foarte complicat de asigurat temperatura necesară în fiecare zonă de coacere. Aceste dezavantaje practic lipsesc în cazul cuptoarelor de tip tunel cu două deschideri și cu recircularea gazelor de ardere.

Tabelul 1.3. Caracteristicile variantelor modernizate ale cuptoarelor de tipul FTL [20]

Parametri	FTL-20	FTL-2-66	HPP-25	GGR-1
Productivitate, t/24 h	4,7 – 5,9	12 – 14,5	25	35
Număr leagăne	17	24	43	64
Suprafața de coacere, m ²	8,3	16	27	43
Puterea motorului elec., kW	1	2,3	1,7	1,7
Dimensiuni de gabarit, mm	4100×2610×2700	5840×4500×3900	5830×3500×4300	6820×3760×5500
Masa, kg	4200	5500	8800	13500

1.2.3. Generalități despre cuptoarele de panificație cu recircularea gazelor

Recircularea gazelor de uzate, de obicei, se utilizează în cuptoare de tip tunel cu bandă mobilă. Se utilizează frecvent în brutării cu capacitate mare de producție (în țara noastră – la SA „Franzețuța”). Acest tip de cuptor a fost elaborat mai târziu decât cuptorul cu gaze cu o singură deschidere, descris anterior, în scopul asigurării:

- mecanizării alimentării cu aluat;
- reducerii consumului de combustibil (datorită recirculării gazelor de ardere);
- reglării mai bune a temperaturii în zone diferite ale camerei de coacere;
- sporirii capacității de producție;
- micșorării spațiului pentru amplasare și deservire;
- ușurării muncii personalului de deservire a cuptorului;
- îmbunătățirii condițiilor igienico-sanitare.

Descrierea detaliată a acestor tipuri de cuptoare este prezentată în [14, 30, 34-36].

În figura 1.10 este prezentată schema de principiu a unui cuptor cu recircularea gazelor de ardere. Combustibilul (gazos sau lichid) se arde în camera de ardere 6, cu ajutorul arzătorului 5. Gazele de ardere uzate răcesc camera de ardere prin pereții exteriori ai acesteia, după care se amestecă împreună cu gazele fierbinți (cu temperatura 1500 °C și mai mult) evacuate din camera de ardere,

în camera de amestec 7. Temperatura gazelor de ardere în camera de amestec poate fi în intervalul 400-600 °C. Prin canalele de distribuție 8, gazele de ardere trec în canalele 2, aranjate în partea superioară și inferioară a camerei de coacere unde cedează căldura lor aerului din camera de coacere. Gazele uzate (cu temperatura 250-350 °C) sunt absorbite de ventilatorul 3 și o parte din acestea este îndreptată din nou spre camera de amestec, iar partea rămasă sunt evacuate din cuptor prin coșul de fum, debitul acestora se reglează cu șiberul 4.

Cuptorul are mai multe zone de încălzire, fiecare având o reglare separată a căldurii în partea superioară și inferioară a fiecărei zone.

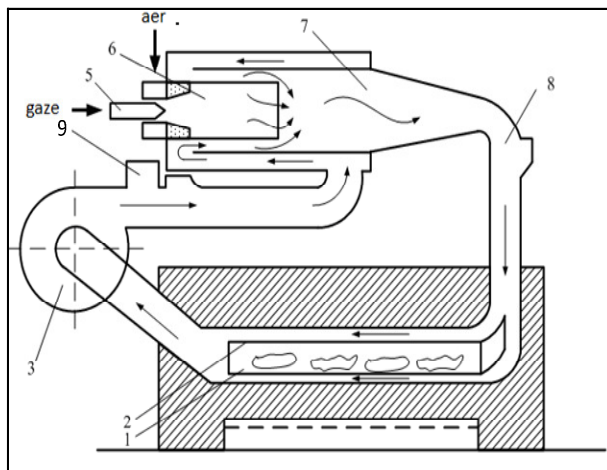


Fig. 1.10. Schema de principiu a unui cuptor cu recircularea gazelor [38]:

- 1 – cameră de coacere; 2 – canale de gaze;
- 3 – ventilator de recirculare; 4 – șiber; 5 – arzător;
- 6 – cameră de ardere; 7 – cameră de amestec;
- 8 – canale de distribuție a gazelor, 9 – coș de fum.

Cuptoarele tunel se produc conform unui principiu clasic, dar fiecare are un design personal caracteristic fiecărui cuptor prin cerințe specifice și din această cauză nici-un cuptor nu este la fel.

Cuptorul **BN-25**. Unul din cele mai utilizate cuptoare de tip tunel în secolul trecut și în prezent, este cuptorul de producție germană BN – 25, 40, 50. În figura 1.11 este prezentat cuptorul BN-25.

Aceste tipuri de cuptoare se utilizează în brutării de productivitate medie și mare.

Camera de coacere a cuptorului are o formă

rectangulară și este deschisă la ambele capete, printr-un capăt se introduce aluatul pe banda mobilă rulantă a cuptorului, iar prin celălalt capăt – se descarcă pâinea coaptă. Principiul de încălzire a camerei de coacere este identic cu cel descris mai sus, caracteristic cuptoarelor de tip tunel. Asigurarea temperaturii necesare efectuării procesului tehnologic, în fiecare din cele 3 zone, se face cu ajutorul unor șubere montate pe canalele de gaze, pentru fiecare zonă, în partea superioară și inferioară a camerei de coacere. Umezirea camerei de coacere se face cu ajutorul a patru țevi perforate de abur alimentate cu abur de presiune joasă, amplasate în prima zonă a camerei de coacere. Aburul necondensat este colectat prin hote și două deschideri plasate la sfârșitul zonei de coacere, care sunt racordate la un canal colector la capătul căruia se află un ventilator.

Alt tip de cuptor din categoria celor cu recircularea gazelor de ardere și cu 2 camere de ardere sunt **Orlandi**. Descrierea construcției și principiului de funcționare a acestuia este dată în

literatura de specialitate [14]. O construcție și principiu de funcționare similară o au și cuptoarele germane **Winkler** și cele cehe de tip **PPP**.

Din categoria cuptoarelor cu recircularea gazelor fac parte și cuptoarele **PHS – 25, - 40** (cuptoare de tip PHS – 40 deja nu se mai produc, dar mai sunt utilizate la unele fabrici). Principiul de funcționare a acestora este similar cu cel al cuptoarelor BN, deosebirea constând în faptul că cuptoarele PHS au câte 2 camere de ardere, respectiv 2 circuite de gaze, un circuit încălzește prima zonă a camerei de coacere, celălalt – restul. Astfel, se poate asigura mai ușor temperatura necesară în zonele de coacere ale cuptorului, mai joasă – în I zonă și mai ridicată – în zona a II.

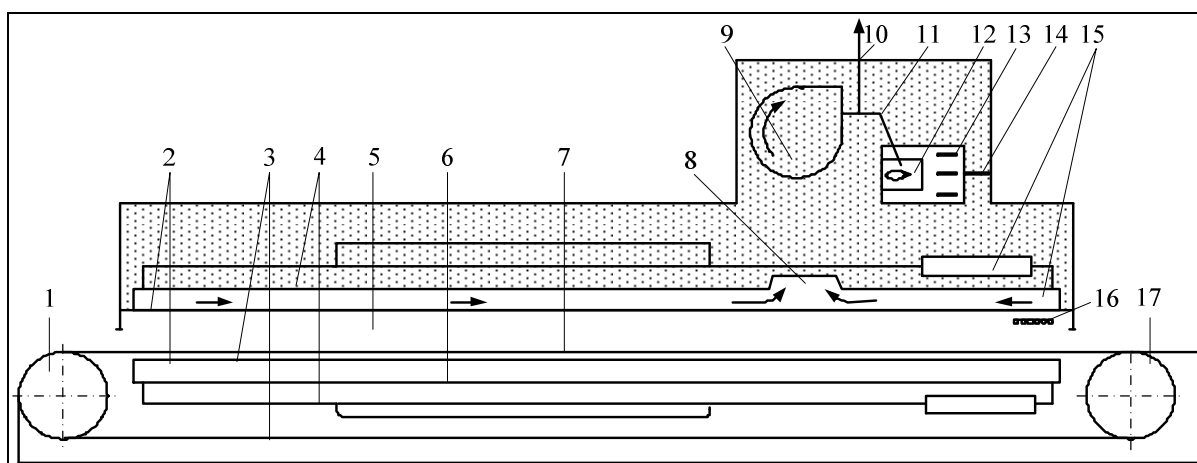


Fig. 1.11. Schema cuptorului BN-25, [35]:

- 1, 17– respectiv tambure de antrenare și întindere; 2, 4, 6, 8, 1, 14, 15 – canale de gaze de ardere;
 3 - bandă rulantă; 5 – cameră de coacere; 7 – perete despărțitor în canal; 9 – ventilator de recirculare;
 10 - coș de fum; 12 – cameră de ardere; 13 – cameră de amestec, 16 – instalație de aburire.

Deoarece în lucrarea dată, tehnologia se va aplica cuptoarelor de tip PPP, descrierea detaliată a acestui cuptor se va face în capitolul 3. În tab. 1.4 sunt prezentate principalele caracteristici ale unor cuptoare cu recircularea gazelor.

Tabelul 1.4. Caracteristicile unor cuptoare de tip tunel cu recircularea gazelor

Parametri	BN-25	PHS-25	PHS-40	PPP
Productivitate, t/24 h	10 – 12	14 – 17	22 -30	2,3 – 46,6
Suprafața de coacere, m ²	25	25	40	9,6 - 133
Puterea motorului electric, kW	9,1	14	14	9
Dimensiuni de gabarit, mm	14430×3500×2700	14570×3350×2950	22070×3350×2590	-
Masa, kg	-	15000	23000	-

Tehnologiile descrise mai sus sunt utilizate în fabrici de panificație de productivitate medie și mare. Pentru coacerea produselor de panificație mărunte și a pâinii în cantități mici, în brutăriile mici se folosesc în special cuptoare modulate și secționate (fig. 1.12). Acestea sunt dotate cu un număr diferit de tăvi și de module. Sunt eficiente și flexibile, sunt executate din inox și au un

aspect modern. Dezavantajul acestor cuptoare constă în încărcarea și descărcarea manuală a produselor.



a) cuptor modular [39]



b) cuptor secționat [40]

Fig. 1.12. Cuptoare de productivitate mică

1.2.4. Justificarea alegerii tipului de cuptor pentru studiul efectuat în lucrare

În țara noastră, pentru coacerea pâinii la fabrici mari sau chiar în brutăriile de capacitate medie sau mică, se utilizează preponderent cuptoarele electrice de panificație. Dar criza energetică din țara noastră și scumpirea continuă a tarifului la energia electrică, ar trebui să orienteze managerii întreprinderilor de panificație spre re tehnologizarea brutăriilor cu cuptoare pe gaze naturale. Avantajele înlocuirii cuptoarelor electrice cu cele pe gaze naturale au fost descrise și cuantificate în lucrare anterior.

Astfel, la Fabrica de pâine Nr. 2 din cadrul SA “Franzeļuța”, anterior erau instalate 5 cuptoare de tip tunel (4 de tip „BN-50” și 1 de tip „Gostol”). Toate 5 funcționau pe energie electrică. Însă, în ultimii 10 ani, două din cele 5 cuptoare electrice, au fost înlocuite cu cuptoare tunel pe gaze naturale (1 de tip „PPP” și altul de tip „Gostol”).

Se observă că, chiar dacă tipul de alimentare a cuptoarelor s-a schimbat, oricum s-a optat pentru păstrarea tehnologiei de cuptor tunel cu recircularea gazelor de ardere. Din descrierea cuptoarelor cu gaze cu o singură deschidere rezultă că acestea sunt destul de economice și asigură un regim termic mai intens, dar funcționarea acestora este discretă. Iată de ce s-a optat pentru păstrarea tehnologiei de cuptor tunel.

Avantajele cuptoarelor de tip tunel (și în special de tipul PPP) sunt [151]:

- mecanizarea proceselor de încărcare-descărcare a produselor;
- procesul de producție continuu;
- repartizarea uniformă a căldurii în 4-5 zone de coacere, ceea ce sporește calitatea pâinii;

- automatizarea mai eficientă a zonelor de coacere și umezire;
- dispariția aromei „de gaze” a pâinii coapte, datorită faptului că gazele de ardere circulă prin canalele de gaze și nu pătrund în camera de coacere a cuptorului.
- vizualizarea proceselor de coacere prin vizoare speciale.

Acestea au fost argumentele în favoarea alegerii cuptorului de tip tunel, iar argumentele în favoarea optării pentru alimentarea cu gaze naturale sunt:

- cuptoarele electrice au o inerție mai mare și o exploatare mai costisitoare datorită tarifului mai mare pentru energia electrică;
- gustul pâinii coapte în cuptorul cu gaze este mai bun față de cel obținut în cuptoarele electrice;
- probabilitatea întreruperii alimentării fabricii cu energie electrică (în caz de avarii sau lucrări de reparații la rețele) este mult mai mare ca în cazul gazelor naturale.

Totodată, unele cercetări [41], au demonstrat că emisia totală echivalentă de gaze cu efect de seră pentru producerea 1 kg de produse de panificație, generată de cuptoare, este mai mare de cca. 1,5 ori în cazul cuptoarelor electrice decât în cuptoarele pe gaze (în țările în care energia electrică consumată este produsă din combustibili fosili). Iar problema de mediu în prezent este foarte acută, atât la nivel național cât și mondial.

În plus la toate argumentele enumerate mai sus, scopul acestei lucrări este analiza eficienței utilizării unei instalații de cuptoare cu „cogenerare integrată”. Astfel, pe lângă energia electrică obținută în această instalație, gazele de ardere evacuate din instalația de cogenerare, vor servi în calitate de agent termic pentru efectuarea proceselor tehnologice de coacere în cuptorul cu gaze.

1.3. Metodologii de evaluare a eficienței energetice a proceselor și instalațiilor tehnologice

1.3.1. Metodologia clasică de apreciere a eficienței energetice

Sporirea eficienței energetice în procesul tehnologic de coacere a pâinii este o preocupare destul de importantă și necesară, ținând cont de faptul că pâinea este practic cel mai solicitat produs alimentar în Republica Moldova. Creșterea continuă a prețului combustibilului organic și impactul negativ al utilizării acestuia de asemenea demonstrează necesitatea raționalizării consumului de energie [42]. Sunt foarte importante cercetările destinate elaborării unor metode și scheme optime de utilizare a combustibilului organic în procesele tehnologice industriale.

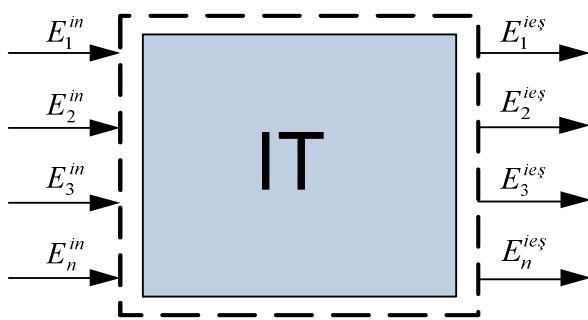
Toate procesele, care decurg în natură sau în instalații tehnologice, sunt rezultatul unor transformări tehnologice. Multe din acestea pot fi efectuate cu un consum de o anumită formă de energie. De aceea este necesar să se facă o analiză energetică care ar da răspuns la întrebările: câtă energie se consumă, care sunt pierderile, pot fi ele reduse, care este eficiența energetică

totală a produsului, poate ea fi majorată? Legile termodinamicii tehnice ne pot ajuta să obținem răspuns la aceste întrebări [43-45].

Aprecierea perfecțiunii termodinamice a proceselor tehnologice are o importanță enormă, deoarece cu cât procesul analizat este mai perfect, cu atât mai puțină energie se introduce în instalația tehnologică pentru efectuarea procesului, [46].

Instrumentul clasic la astfel de analize ale proceselor tehnologice reprezintă bilanțul energetic. Scopul acestuia este să determine consumurile de energie dintr-un contur analizat și de a evidenția detaliat aceste consumuri în componente utile și pierderi [47]. La moment acesta reprezintă cea mai utilizată metodă de către auditori pentru aprecierea eficienței energetice a întreprinderilor și diverselor tehnologii.

Întocmirea bilanțului energetic se face în baza primului principiu al termodinamicii (legea conservării energiei) în care toate fluxurile de energie se prezintă în cantități echivalente de energie. Pentru întocmirea bilanțului energetic instalația tehnologică este imaginată ca un sistem termodinamic deschis și, după metoda termodinamică, se consideră ca o cutie „neagră”, care se prezintă în formă de dreptunghi (fig. 1.13). În concordanță cu primul principiu al termodinamicii suma fluxurilor de energie la intrare în instalație este egală cu suma fluxurilor la ieșire. La intrare se vor indica și fluxurile de energie al reacțiilor exotermice (cu semnul pozitiv) și endotermice (cu semnul negativ). În fluxurile energetice la ieșire se introduc și pierderile de căldură prin suprafețele exterioare ale instalației.



La fluxurile de energie se vor include și cele determinate de căldură, entalpie, căldura de ardere a combustibilului, căldura reacțiilor chimice și cea degajată în urma fenomenelor termo-tehnologice.

Cu ajutorul bilanțului energetic se poate evidenția sub formă de tabel, diagramă sau altă formă de egalități cantitățile de energie intrate -

Fig. 1.13. Fluxurile energetice în instalația tehnologică

$\sum_{i=1}^n E_i^{in}$ într-un sistem dat și la un anumit interval de timp, pe de o parte, și cantitățile de energie evacuate - $\sum_{i=1}^n E_i^{ies}$, pe de altă parte, sau într-o formă mai complexă se poate scrie [55]:

$$\sum_{i=1}^n E_i^{in} + \sum_{i=1}^n E_i^s = \sum_{i=1}^n E_i^{ut} + \sum_{i=1}^n E_i^{el} + \sum_{i=1}^n E_i^r, \quad (1.1)$$

unde: $\sum_{i=1}^n E_i^g$ reprezintă suma tuturor cantităților de energie generate în cadrul sistemului;

$\sum_{i=1}^n E_i^{ut}$ - suma cantităților de energie util folosită în sistemul analizat;

$\sum_{i=1}^n E_i^{el}$ - suma cantităților de energie eliminate (pierdute) din cadrul sistemului;

$\sum_{i=1}^n E_i^r$ - suma tuturor cantităților de energie conținute în resursele energetice secundare de orice formă care se livrează spre exteriorul conturului și care sunt sau pot fi efectiv folosite în alte procese.

Particularitățile întocmirii bilanțurilor energetice pentru diverse tipuri de întreprinderi, instalații și procese tehnologice sunt prezentate în literatura de specialitate [47, 49-55].

Datele furnizate de bilanțurile energetice permit determinarea valorică a indicatorilor energetici [56-58], de exemplu consumul specific de energie sau randamentul energetic. Aceștia caracterizează din punct de vedere energetic un proces tehnologic.

Pentru aprecierea eficienței proceselor energetice, în cele mai dese cazuri, se utilizează noțiunea de *randament energetic* - raportul dintre energia util consumată și energia total consumată:

$$\eta_{en} = \sum_{i=1}^n E_i^{ut} / \sum_{i=1}^n E_i^{con}, \quad (1.2)$$

Pe lângă prezentarea numerică de tipul relației (1.1), bilanțurile energetice pot fi expuse și sub formă de diagrame de flux Sankey (fig. 1.14) [49], în care este reprezentat bilanțul energetic al unui cazan. Din această figură rezultă că o bună parte a energiei consumate Φ_{tot} , se pierde (adică nu se consumă pentru producerea aburului). Dar nu se pot deduce concluzii privitoare la posibilitățile reale de reducere a pierderilor și nici la valoarea economică a acestor pierderi.

O metodă eficientă de micșorare a consumului specific de energie este utilizarea resurselor energetice secundare (RES) [59-61]. RES reprezintă potențialele energetice ale produselor și deșeurilor, obținute în procese tehnologice, care nu au fost utilizate complet în procesul dat la momentul dat, dar ar putea fi utilizate după introducerea unor investiții suplimentare pentru procesul tehnologic de bază ori alte procese.

Analiza instalațiilor și proceselor tehnologice în baza bilanțului energetic posedă însă un șir de dezavantaje precum:

- bilanțul energetic posedă un caracter cantitativ. În acesta se includ la egal toate componentele energetice indiferent de calitatea energiei pe care o prezintă;
- în cazul proceselor tehnologice adeseori este destul de greu de selectat partea de energie util consumată;

- nu întotdeauna numai în baza bilanțului energetic este posibilă determinarea mecanismelor fizic și valoarea pierderilor de energie;
- analiza bilanțului energetic nu ne poate răspunde la întrebarea – care din pierderile de energie ale procesului analizat nu pot fi recuperate și care pot fi utilizate în calitate de RES.

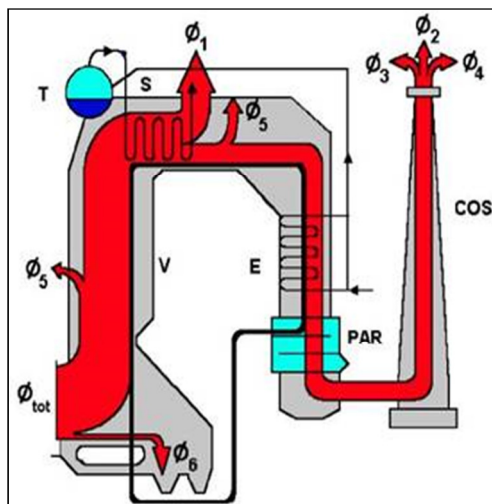


Fig. 1.14. Diagrama Sankey pentru un cazan de abur:

V – vaporizator; **T** – tambur; **S** – supraîncălzitor de abur; **E** – economizor;
PAR – preîncălzitor de aer; **COS** – coșul de fum; Φ_{tot} – căldura totală;
 Φ_1 – căldura utilă; Φ_2 – căldura pierdută cu entalpia gazelor la coș;
 Φ_3 – căldura pierdută cu arderea chimic incompletă; Φ_4 – căldura pierdută
cu arderea mecanic incompletă; Φ_5 – căldura pierdută prin pereți;
 Φ_6 – căldura pierdută cu entalpia zgurii evacuate.

În așa mod, analiza energetică la sisteme complexe de tipul întreprinderilor industriale poate deveni incertă. Despre acest lucru au relatat și unii savanți în lucrările lor [48, 52, 62]. Toate aceste dezavantaje pot fi evitate prin analiza bilanțului exergetic.

1.3.2. Metoda exergetică de analiză a consumurilor energetice în instalațiile industriale

Căldura, energia internă și entalpia, ca mărimi de calcul, exprimă cantități globale de energie, însă, structura acestor mărimi nu permite să se pună în evidență ce cantitate din energiile respective se pot transforma în lucru mecanic. În comparație cu unele forme de energie cum ar fi cea electrică, mecanică ș.a., care în condiții perfecte s-ar putea transforma integral una în alta, energia internă (suma tuturor energiilor de mișcare a moleculelor componentelor unui sistem) se deosebește prin faptul că se poate transforma doar parțial în altă formă de energie (conform principiului II al termodinamicii). Această particularitate este consecința unei deosebiri esențiale, după care energiile se clasifică în *energii ordonate* și *neordonate* [62].

În cazul energiilor ordonate, toate părțile sistemului se deplasează spre aceeași direcție și în același sens cu sensul general de desfășurare a transformării (de exemplu, în cazul energiei mecanice potențiale – în sensul în care acționează forța gravitațională). Însă schimbul de energie

sub formă de căldură constă în transmiterea de energie între sisteme datorită mișcării moleculare care este o mișcare dezordonată, fără direcții și sensuri preferențiale. Astfel, dacă se urmărește transformarea căldurii în alte forme de energie, de exemplu în energie mecanică, se poate de realizat doar o transformare parțială, deoarece, în timpul procesului, unele molecule se deplasează pe direcții și în sensuri diferite de sensul general de desfășurare a acestuia, astfel încât nu participă la efectuarea de lucru mecanic.

Apare problema estimării dezordinii mișcării moleculare, depistării cauzelor care duc la sporirea gradului de dezordine și gradului de transformabilitate a căldurii în alte forme de energie. Astfel, s-a introdus mărimea numită *entropie*. Este important de menționat faptul că doar în procesele ideale (reversibile) entropia rămâne constantă, iar în procesele reale (ireversibile) – entropia crește. Cu cât creșterea de entropie în procesul (sistemul) analizat este mai mare cu atât gradul de ireversibilitate este mai mare și, respectiv, cu atât mai mult scade perfecțiunea (eficiența energetică) a acestuia.

Deoarece există legături între entropie, dezordinea mișcării moleculare și capacitatea de transformare a căldurii în alt tip de energie, se poate stabili un mijloc de a exprima capacitatea de transformare în funcție de entropie, mărime care poate fi calculată.

Expresia analitică a pierderilor de exergie este dată de teorema Gouy-Stodola în care intervine mărimea de stare ce apreciază gradul de ireversibilitate - entropia (relațiile (1.4 și 1.5)).

În scopul elaborării unei metode de analiză și calcul care ar lua în considerare următoarele caracteristici ale proceselor termodinamice: starea sistemului; forma energiei consumate; gradul de perfecțiune a proceselor și starea mediului ambiant, s-au introdus noțiunile de exergie și anergie.

Exergia este cantitatea maximă de energie care, pentru o stare anumită a mediului ambiant, în condiții de reversibilitate totală a proceselor, se poate transforma în oricare altă formă de energie. Din această categorie fac parte în deosebi energia electrică și energiile mecanice, cu condiția că efectuarea acestor energii nu impune creșteri de volum, care să solicite consum de lucru mecanic de dislocare. Denumirea de exergie a fost propusă de Z. Rant în 1953, fiind ulterior unanim folosită [64].

Anergia este energia care, chiar și în condiții de reversibilitate totală a proceselor, nu se poate transforma în altă formă de energie. În această categorie se încadrează căldura disponibilă la temperatura mediului ambiant și energia internă corespunzătoare stării de echilibru cu mediul ambiant. Conform principiului doi al termodinamicii, energiile cu capacitate limitată de

transformare, nu se pot transforma decât parțial în lucru mecanic, adică în exergie, restul acestor energii constă în anergie.

Termenul anergie servește pentru conștientizarea faptului, că există așa energie, care este „nefuncțională” și încercările de a organiza un proces bazat pe utilizarea acesteia, este inutil.

Toate procesele tehnologice, realizate în tehnică, sunt ireversibile, în fiecare caz ireversibilitatea reprezintă cauza diminuării perfecțiunii procesului. Această diminuare nu rezultă din cauza pierderilor de energie (care ar contravine legii conservării energiei), ci din cauza micșorării calității acesteia, adică exergia se transformă în anergie [65].

Diferențele între diverse forme de energie, în funcție de capacitatea de transformare a energiei, determină diferențele corespunzătoare în ceea ce privește posibilitățile de utilizare a energiilor respective. În așa mod, energiile cu un conținut total sau mare de exergie, sunt mai valoroase din punct de vedere tehnic și economic decât energiile cu un conținut mare de anergie, ale căror posibilități de utilizare sunt mai reduse.

Necesitatea apariției noii metode de analiză a eficienței energetice a proceselor tehnologice a apărut din motivul că s-a mărit foarte mult numărul și tipul acestor procese. Procesele tehnologice contemporane sunt foarte diverse, însoțite de modificări fizico-chimice și prin transformări complicate ale tipurilor de energie. Acest fapt a provocat savanții la căutarea metodelor noi, mai complexe, de analiză a proceselor tehnologice cu utilizarea principiului doi al termodinamicii, care ar face posibilă aprecierea calitativă a diferitor forme de energie [63].

Analiza exergetică poate fi făcută prin două metode diferite:

- 1) *Metoda exergetică*, bazată pe calculul fluxurilor de exergie. Prin această metodă este necesar de calculat exergia la intrare și la ieșire din instalație, cât și exergia recuperată și inclusă în circuitul instalației tehnologice. Această metodă a fost dezvoltată de Grassman, J. Shargut, Keenan, V. Brodianskii [76, 77], B. Sajin [70], V. Radcenco și I. Nerescu.
- 2) *Metoda entropică*, bazată pe principiul de excludere a fluxurilor de exergie. Prin această metodă este necesar de calculat doar exergia la intrare în instalație și pierderile de exergie. Această metodă a fost dezvoltată de Clausius și D. Gohștein [66].

Ca și la analiza energetică, orice instalație tehnologică poate fi reprezentată sub forma unei cutii negre (fig. 1.15). Prin suprafața de control a cutiei se introduce și se extrage exergie ($\sum_{i=1}^n E_{xi}^{in}$ și

$\sum_{i=1}^n E_{xi}^{ies}$) sub patru forme: energie electrică sau mecanică, exergia căldurii, exergia fluxurilor de substanță (agenților termici) și exergia chimică (a combustibilului). Tot prin această suprafață de control ies pierderile exergetice $\sum_{i=1}^n P_{xi}$, [54].

Perfecțiunea instalației se exprimă prin *randamentul exergetic* definit ca raportul dintre suma exergiilor util consumate în instalație și suma exergiilor total consumate:

$$\eta_{ex} = \frac{\sum_{i=1}^n E_{xi}^{ut}}{\sum_{i=1}^n E_{xi}^{in}} \quad (1.3)$$

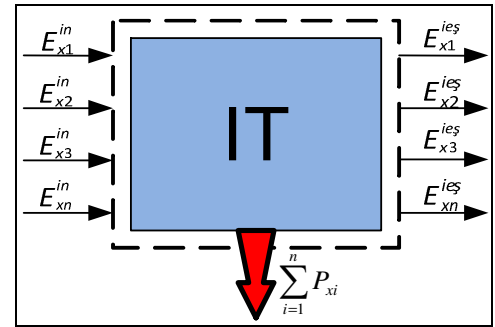


Fig. 1.15. Fluxurile exergetice în instalația tehnologică

Calculul bilanțului exergetic al instalației după schema prezentată în fig. 1.15 și determinarea valorii randamentului exergetic sunt posibile numai în cazul când se dispune de metode de calcul a valorilor fluxurilor de exergie care intervin în bilanțul analizat. În literatura de specialitate sunt indicate relații de calcul a tuturor fluxurilor posibile de exergie precum: exergia căldurii, a unui flux de substanță [67], a combustibililor [68], a diferitor materiale [52, 69, 71].

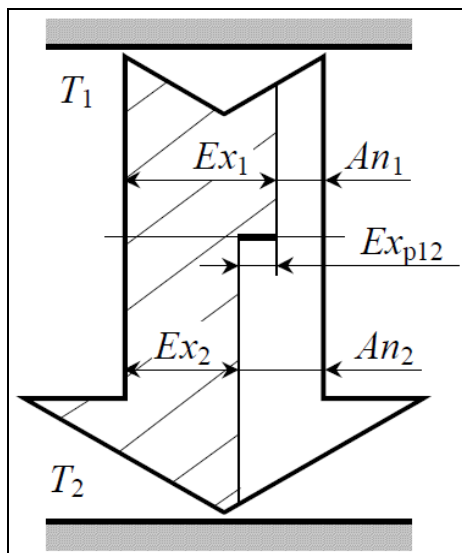


Fig. 1.16. Diagrama Grassman pentru transferul de căldură [71]

Diagrama Sankey a fluxurilor energetice expusă în figura 1.14, nu ne prezintă informație despre principiul doi al termodinamicii, despre reversibilitatea sau ireversibilitatea proceselor, sau despre cât din energia disponibilă a fost transformată într-o formă utilă. În analiza exergetică, este foarte util de prezentat diagrama fluxurilor exergetice și anergice (diagrama Grassman), în care fiecare săgeată proporțională cu o anumită căldură sau lucru mecanic este împărțită în două benzi de culori diferite proporționale cu exergia și respectiv cu anergia cantității respective de energie (fig. 1.16). Printr-o linie orizontală este prezentat locul în care se petrece efectiv procesul, iar exergia

pierdută Ex_{p12} este reprezentată în acest loc ca un segment de grosime mai mare.

Bazele teoretice ale metodei de analiză exergetică au fost elaborate încă la sfârșitul sec. XIX în lucrările lui J. Gibbs, G. Guy și A. Stodola [72-74]. Rezultatele lucrărilor scrise de acești savanți nu au trezit mare interes la acel moment de timp, deoarece nivelul de dezvoltare a tehnicii nu solicita o așa analiză termodinamică avansată, dar acestea au servit ca bază pentru dezvoltarea ulterioară, la începutul sec. XX, a acestei direcții. Astfel, în anii 30 ai secolului trecut, bazele teoretice ale analizei exergetice au fost dezvoltate în lucrările savanților J. Keenan, W. Keesom, G. Darrieus și F. Bosnyakovic.

Analiza exergetică a căpătat o dezvoltare vertiginoasă, începând cu anii 60 ai secolului trecut. În partea a doua a secolului XX, cel mai mare aport în dezvoltarea acestei direcții l-au avut savanții: J. Szargut, R. Petela [65], A. Andriușcenko [75], V. Brodianskii [76, 77], V. Stepanov [52, 78], D. Gohștein [79], B. Sajin [70], E. Iantovskii [80], Bejan A. [43-44], I. Nerescu, V. Radcenco [62, 103], G. Tsatsaronis [44, 101], C. Ioniță [81, 92], T. Sajin [82].

La etapa actuală, analiza exergetică este frecvent utilizată în studiile efectuate în țările dezvoltate [83-94], 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 [95-96].

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. [42, 55-56, 97].

Totuși, nivelul de interes față de analiza exergetică a proceselor și instalațiilor tehnologice în țara noastră este foarte slab, nemaivorbind despre nivelul de aplicabilitate a acesteia în procesul de evaluare a potențialului de eficientizare energetică. Poate acesta este unul din motivele intensității energetice mari în țara noastră în comparație cu țările europene (de cca 2 ori [98] și chiar mai mult [149]). Practic, nu sunt proiecte energetice, în care deciziile tehnice să fie elaborate pe baza analizei exergetice.

1.3.3. Metoda entropică de analiză termodinamică

Așa cum s-a menționat în p. 1.3.2, esența metodei entropice constă în faptul că pentru analiza exergetică a unei instalații nu este necesar de calculat toate fluxurile de exergie (care adeseori e foarte complicat). Cunoscând exergia primară la intrare în instalație, este suficient de determinat numai pierderile de exergie. Astfel, scăzând din valoarea exergiei primare pierderile de exergie ușor pot fi determinate valoarea exergiei la ieșire din instalație.

În acest caz, perfecțiunea termodinamică a instalației tehnologice se exprimă prin *gradul de perfecțiune termodinamică* al acestei instalații, care poate fi calculat cu relația [55, 99]:

$$\gamma_{ex}^{ehn} = 1 - \left(\frac{\sum_{i=1}^n P_{xi}}{\sum_{i=1}^n E_{xi}^{in}} \right), \quad (1.4)$$

unde: $\sum_{i=1}^n P_{xi}$ reprezintă suma pierderilor de exergie, în J ;

$\sum_{i=1}^n E_{xi}^{in}$ - suma fluxurilor de exergie la intrare în instalație, în J .

Această metodă presupune calcularea pierderilor de exergie în fiecare proces separat folosind teorema Gouy-Stodola, care în formă matematică poate fi scrisă astfel [52]:

$$P_{xi} = T_{ma} \cdot \Delta S, \quad J \quad (1.5)$$

unde: T_{ma} reprezintă temperatura mediului ambiant; în K ;

ΔS - creșterea entropiei în sistemul analizat, în J/K .

Bosnjakovic a propus pentru mărimea $\sum_{i=1}^n P_{xi} / \sum_{i=1}^n E_{xi}^{in}$, din relația (1.4), denumirea de coeficient de pierderi sau *grad de ireversibilitate*. Astfel, cu cât valoarea mărimii respective este mai mică cu atât gradul de ireversibilitate al procesului analizat este mai mic.

Numeroase probleme, nu numai de natură energetică, pot fi rezolvate prin căutarea minimumului generării de entropie sau maximumului randamentului exergetic [100]. Deci, un proces sau instalație tehnologică are un grad de eficiență energetică cu atât mai mare cu cât randamentul exergetic are o valoare mai mare.

Randamentul exergetic are o valoare mai mare, cu cât pierderile de exergie sunt mai mici. La rândul lor, pierderile de exergie sunt direct proporționale cu creșterea de entropie în procesul analizat. Rezultă că problema calculului pierderilor exergetice, în orice proces, se reduce la calculul variației entropiei. Este important de remarcat faptul că cu cât procesul analizat este mai ireversibil cu atât creșterea de entropie este mai mare. Metodologia de calcul a pierderilor de exergie este detaliat expusă în [43, 55, 62, 66, 76].

De aceea, pentru sporirea eficienței energetice a unui proces, este necesar de redus cât mai mult posibil gradul de ireversibilitate a acestuia. Natura și cauzele apariției ireversibilității vor fi expuse în capitolul următor.

1.3.4. Descrierea metodei exergoeconomice de evaluare a eficienței energetice

Începând cu anii 60 ai secolului trecut, odată cu apariția unor lucrări ale savanților americani: R. Gaggioli, M. Tribus, Y. El-Sayed și savantului polonez J. Szargut, a luat naștere o nouă perioadă de dezvoltare a termodinamicii clasice, numită termoeconomia sau analiza exergoeconomică.

Termoeconomia este o știință despre utilizarea rațională a energiei în contextul unificării principiului doi al termodinamicii și analizei economice. Aceasta reprezintă cea mai desăvârșită metodă de determinare a eficienței sistemelor energetice, în comparație cu alte metode descrise anterior [101]. Cu alte cuvinte, analiza exergoeconomică, este o metodă de analiză complexă, deoarece combină analiza exergetică, ce permite de a propune soluții de perfecționare

termodinamică a proceselor și instalațiilor, și analiză economică, ce dă posibilitatea de a arăta costul măsurilor tehnice adoptate în caz de modernizare [102].

Combinarea analizei exergetice cu analiza economică permite determinarea costurilor fluxurilor de exergie, adică se va opera cu costurile părții utilizabile a energiei. Astfel, vor rezulta priorități și direcții de modificare a parametrilor tehnici și funcționali ai sistemelor analizate, în scopul minimizării costurilor produselor finale [93]. Esența metodei de analiză exergoeconomică detaliat este expusă în [43, 74, 77, 81-82, 101, 103-106]. Chiar dacă în majoritatea lucrărilor savanții recomandă în special metoda exergoeconomică pentru analiza sistemelor energetice, totuși această metodă poate fi extinsă la orice domeniu al producției de bunuri și servicii.

Ecuția de bază a analizei exergoeconomice exprimă costul energiei produse C_p în funcție de trei termeni componenți [57]:

$$C_p = C_c + C_{ci} + C_{ei}, \text{ u.m.} \quad (1.6)$$

unde: C_c reprezintă rata de cost a resurselor consumate (de exemplu: a combustibilului);

C_{ci} - rata de cost corespunzător capitalului investit;

C_{ei} - rata de cost corespunzător exploatării și întreținerii instalației.

Metodologia de calcul al celor 3 componenți din relația (1.6) este expusă detaliat în [108].

Dacă analizăm ultima relație, observăm că numai o singură componentă are valoare exergetică - C_c , celelalte două componente - C_{ci} și C_{ei} nu pot fi exprimate exergetic, adică au valoare nonexergetică.

Metoda exergoeconomică propune ca costurile din ecuația (1.6) să se exprime funcție de fluxurile de exergie ale consumurilor și produselor sistemului analizat. Astfel, pentru un sistem analizat, care consumă n fluxuri de exergie și produce m fluxuri exergetice, toate având costuri specifice, se poate de scris [101]:

$$\sum_{i=1}^m c_{pi} \cdot E_{pi} = \sum_{i=1}^n c_{ci} \cdot E_{ci} + C_c + C_{ei}, \quad (1.7)$$

unde: c_{pi} , c_{ci} reprezintă costurile specifice pentru exergia consumată sau produsă;

E_{pi} , E_{ci} - fluxurile de exergie produsă sau consumată.

Valorile C_{ci} și C_{ei} de obicei sunt cunoscute, având aceleași valori indiferent de regimul de funcționare al sistemului energetic. Valorile E_{pi} și E_{ci} pot fi determinate cu ajutorul analizei exergetice, aplicând relațiile expuse în p. 1.3.2, acestea având valori variabile funcție de regimul de lucru.

Deci, scopul analizei exergoeconomice este minimizarea costului produsului, conform ecuației (1.7). În acest caz optimizarea sistemului studiat poate fi realizată prin construirea unui model cvazioptim, după care, prin modificarea unor parametri, putem stabili varianta optimă.

Totuși, analiza exergoeconomică este una destul de laborioasă și dificilă, de aceea, în lucrarea dată, fezabilitatea economică a soluțiilor propuse în lucrare se va determina prin metoda clasică, operând cu valoarea fluxurilor de energie, analiza exergetică fiind folosită doar pentru evaluarea eficienței energetice a soluției tehnice propuse.

Concluzii, constatări și recomandări la capitolul 1

1. Pâinea este un produs de importanță majoră în alimentația oamenilor, de aceea problema eficientizării energetice a proceselor de panificație în scopul micșorării prețului de cost al pâinii a fost un subiect de preocupare a cercetătorilor din toate timpurile.
2. Cea mai energointensivă operațiune a procesului tehnologic de panificație este cea de coacere, în cadrul căreia se consumă cca. 94% din căldura și 34% din totalul energiilor consumate în procesul de panificație. Din acest motiv studiul efectuat în lucrare este axat pe problema eficientizării energetice a acestei operațiuni.
3. La întreprinderile de panificație din țară sunt rezerve mari de eficientizare a consumurilor energetice. În cadrul acestora întotdeauna există consumuri de energie sub cele două forme - energie termică și energie electrică; plecând de la aceasta, în lucrare este studiată și analizată oportunitatea de sporire a eficienței energetice prin aplicarea cogenerării energiei termice și energiei electrice.
4. Cuptoarele de panificație sunt de o diversitate foarte mare, în funcție de destinație, tipul energiei consumate, principiul de funcționare ș.a. În condițiile R. Moldova, unde energia electrică este scumpă, este rezonabil de utilizat cuptoarele pe gaze naturale în detrimentul celor electrice. De asemenea, în procesele de panificație aplicate la scară industrială, sunt oportune de utilizat cuptoarele de tip tunel care asigură capacități mari de producție și un proces continuu de panificație, datorită particularităților constructive ale acestora.
5. La identificarea posibilităților de reducere a consumurilor de energie ale cuptoarelor este oportună aplicarea metodei *analizei energetice* a proceselor ce decurg în aceste instalații. Instrumentul clasic utilizat în acest scop este bilanțul energetic, care permite determinarea ulterioară a randamentului energetic.

6. Analiza energetică poartă un caracter pur cantitativ și nu ține cont de calitatea energiilor care intervin în bilanțul energetic studiat. Prin aplicarea acestei metode se poate de estimat valoarea cantitativă a fluxurilor de energie care intervin în sistemul analizat cât și a pierderilor de energie, dar nu permite de a obține o imagine completă asupra proceselor care se desfășoară în instalație și asupra gradului de perfecțiune termodinamică și măsurii ireversibilității acestora. În acest context analiza energetică a proceselor și instalațiilor studiate necesită a fi completată cu *analiza exergetică*.

Analiza energetică a procesele studiate în lucrare se va face în baza metodei bilanțului energetic, iar analiza exergetică – în baza combinației dintre metoda exergetică și metoda entropică, pentru a putea determina toate componentele bilanțului exergetic.

7. Ireversibilitatea proceselor tehnologice este una din cauzele principale ale eficienței energetice scăzute ale instalațiilor în care acestea decurg. De aceea, în procesul de evaluare a eficienței energetice, este absolut necesar să se identifice care sunt procesele cu un grad sporit de ireversibilitate și de propus măsuri de diminuare a acestuia. Acest obiectiv poate fi atins prin utilizarea analizei exergetice a proceselor.
8. Studiul bibliografic efectuat cu privire la aplicabilitatea analizei exergetice în procesele de evaluare a eficienței energetice a proceselor și instalațiilor, denotă faptul că acest instrument/metodă este pe larg aplicat în țările dezvoltate, ceea ce nu se poate spune despre țara noastră.

2. ASPECTE METODOLOGICE CE PRIVESC EVALUAREA EFICIENȚEI ENERGETICE A INSTALAȚIILOR DE CUPTOARE DE TIP COGINTEGR

2.1. Conceptul integrării cogenerării în instalațiile tehnologice (Conceptul “CogIntegr”)

2.1.1. Soluția clasică de producere a gazelor de ardere în cuptoare

Așa cum a fost menționat în capitolul anterior, toate procesele tehnologice reale sunt ireversibile, aceasta fiind cauza micșorării perfecțiunii lor. Creșterea ireversibilității duce la degradarea exergiei și transformarea unei părți a acesteia în anergie. De aceea, este foarte important de înțeles și depistat cauzele care duc la creșterea ireversibilității proceselor și de întreprins măsuri pentru diminuarea acesteia.

Un proces este *reversibil*, dacă poate fi realizat pe calea cea mai scurtă, astfel încât, sistemul analizat și mediul ambiant să poată fi reîntoarse la stările lor inițiale respective. Un proces este *ireversibil*, dacă este imposibil de a fi realizat pe o astfel de cale, încât sistemul și mediul ambiant să poată fi reîntoarse la stările lor inițiale.

Cele mai generale cauze ale apariției ireversibilității în diverse procese și instalații sunt:

- arderea combustibililor;
- schimbul de căldură dintre corpuri la diferență finită de temperatură [109];
- curgerea cu frecare;
- procesele de amestecare;
- procesele de laminare ale gazelor și vaporilor.

Transformarea exergiei combustibilului în anergie în *procesele de ardere* se datorează faptului că nu se respectă condițiile unei arderi ideale (cu o cantitate minimă de oxigen și la temperatura maximă). Astfel, pierderea de exergie crește odată cu mărirea excesului de aer și cu reducerea temperaturii gazelor de ardere.

Conform principiului II al termodinamicii, căldura se transmite de la sine de la corpul cu temperatura mai mare la corpul cu temperatura mai mică. Reducerea nivelului de temperatură al căldurii impune procesului de transfer de căldură un caracter ireversibil. Ireversibilitatea acestui proces se datorează diferenței finite de temperatură la care se desfășoară schimbul de energie sub formă de căldură între corpurile din natură [109]. Gradul de ireversibilitate a unui *proces de transfer de căldură* crește odată cu majorarea diferenței de temperatură dintre corpurile care fac schimb de căldură.

Aproape toate procesele termice care au loc în instalațiile termice se realizează prin intermediul agenților termici, care în majoritatea cazurilor sunt corpuri fluide. *Mișcarea fluidelor* fiind un proces care decurge cu frecare, aceasta servește ca sursă de generare a entropiei. Conform [43]

rezultă că atât debitul de fluid care curge, cât și căderea de presiune a acestuia contribuie la generarea entropiei și totodată la pierderile de exergie.

O altă categorie de procese care contribuie esențial la degradarea exergiei reprezintă procesele de *amestecare*. Gradul de ireversibilitate a proceselor de amestecare este cu atât mai mare cu cât diferența de temperatură ale fluidelor care se amestecă se majorează. De aceea, pentru reducerea ireversibilității proceselor de amestecare este necesar de asigurat o diferență de temperatură ale acestora cât mai mică posibil.

Procesele de laminare ale gazelor și vaporilor la fel sunt procese pur ireversibile, însoțite de distrugerea exergiei. Aceste procese se întâlnesc des în aplicații practice, de exemplu, la trecerea unui fluid printr-o supapă parțial deschisă sau la curgerea agentului frigorific printr-un ventil de laminare. Conform [55], gradul de ireversibilitate al proceselor de laminare crește odată cu majorarea debitului și a raportului de destindere al dispozitivului de laminare.

Deci, este foarte important de identificat procesele cu grad înalt de ireversibilitate, de stabilit factorii care contribuie la majorarea acestuia și de întreprins măsuri sau de asigurat condiții care ar duce la micșorarea gradului de ireversibilitate, contribuind astfel la sporirea eficienței energetice a procesului analizat și a instalației în care acesta decurge.

Unul dintre procesele cu grad înalt de ireversibilitate, care decurg în cuptoare pe gaze naturale, reprezintă procesul de amestecare a gazelor din camera de ardere cu gaze recirculate. De exemplu, cuptorul de panificație de tip PPP 3 54.211 ST, care reprezintă subiectul cercetării în lucrare, este echipat cu cameră de ardere cu arzător pe gaze naturale. Temperatura teoretică a gazelor în camera de ardere este de cca. 1630°C (Anexa 4), pe când temperatura necesară a gazelor în canalele cuptorului este de cca 450°C (fig. 2.1).

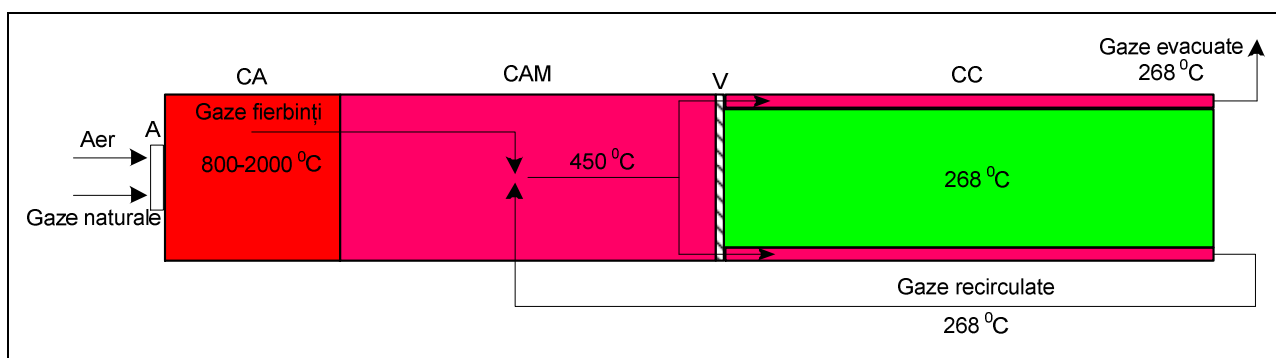


Fig. 2.1. Schema de principiu a instalației clasice de panificație:

A – arzător; CA – camera de ardere; CAM – camera de amestecare; V – ventilator;
CC – camera de coacere.

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, a căror temperatură constituie 268 °C.

În cazul când curenții care se amestecă sunt purtătorii aceluiși gaz ideal, cu aceeași constantă a gazului R , și aceeași capacitate termică specifică c_p , este valabilă următoarea relație pentru calculul variației entropiei (în care termenul 1 se referă la parametrii gazelor de ardere fierbinți din camera de ardere, 2 – parametrii gazelor de ardere recirculate în cuptor și 3 – parametrii amestecului de gaze, rezultat din comasarea primelor două), [43]:

$$\frac{\Delta \dot{S}}{\dot{m}_3} \approx x(1-x) \left(\frac{T_1 - T_2}{T_1} \right)^2 + x \frac{R}{c_p} \left(\frac{p_1 - p_3}{p_3} \right) + (1-x) R c_p \left(\frac{p_2 - p_3}{p_3} \right) \geq 0, \quad (2.1)$$

în care $x = \dot{m}_1 / \dot{m}_3$ este raportul dintre debitul gazelor de ardere fierbinți în camera de ardere și debitul amestecului de gaze.

Primul termen al membrului drept al relației (2.1) exprimă ireversibilitatea asociată temperaturii inițiale, la începutul amestecării gazelor fierbinți din camera de ardere cu gaze recirculate. Astfel, ireversibilitatea termică asociată procesului de amestecare crește cu pătratul diferenței de temperatură la intrare în camera de amestecare. Ceilalți doi membri dreپți ai relației (2.1) țin seama de ireversibilitatea cauzată de pierderile de presiune înregistrate de ambii curenți la trecerea prin punctul de joncțiune triplă.

Deci, ireversibilitatea termică, creșterea entropiei și respectiv pierderile de exergie asociate amestecării cresc cu pătratul diferenței de temperatură ale celor două gaze care se amestecă și căderii de presiune a ambelor curenți de gaze la trecerea prin camera de amestecare.

O măsură de sporire a eficienței energetice a procesului de coacere a pâinii, ar fi reducerea ireversibilității procesului de obținere a debitului de gaze cu parametrii necesari prin înlocuirea procesului de amestecare cu un proces de transfer de căldură, care este mai puțin ireversibil. În acest caz, pierderile de exergie pot fi determinate cu relația [55]:

$$\dot{P}_x = \dot{Q} \frac{T_{ma}}{T_m^r} \cdot \frac{1}{\left[1 + (T_m^r / \Delta T) \right]}, \quad (2.2)$$

unde: \dot{Q} este fluxul de căldură transmis între mediile care fac schimb de căldură, în W ;
 T_{ma} - temperatura termodinamică medie a mediului ambiant, în K ;
 T_m^r - temperatura termodinamică medie a mediului care se încălzește, în K ;
 ΔT - diferența medie a temperaturii mediului care se răcește și a mediului, care se încălzește, în K .

Conform relației (2.2), pierderile de exergie se majorează cu creșterea diferenței ΔT și reducerea temperaturii mediului care se încălzește T_m^r .

Ca rezultat al analizei comparative ale proceselor de amestecare și a celor de transfer de căldură aplicate gazelor, rezultă concluzia că ireversibilitatea proceselor cu gaze sporește odată cu majorarea diferenței de temperatură dintre acestea, mai ales în procesele de amestecare, deoarece pierderile de exergie în procesele de transfer de căldură se majorează cu creșterea diferenței ΔT , dar nu la pătrat ca în cazul proceselor de amestecare.

În conformitate cu tema de cercetare, în lucrarea dată s-a atras o atenție specială secțiunii cuptorului în care are loc producerea gazelor de ardere cu temperatura necesară pentru efectuarea procesului tehnologic de coacere a pâinii. Deci, se vor analiza camera de ardere, camera de amestecare și camera de coacere. Pentru o înțelegere mai clară a proceselor analizate se va prezenta schema de principiu de intercalare a elementelor menționate în figura 2.1. Analizând figura 2.1, pot fi deduse următoarele concluzii:

- temperatura gazelor în camera de ardere este destul de ridicată – cca. 1630 °C;
- în camera de amestec sunt amestecate gazele fierbinți, obținute în camera de ardere, cu gaze reci, recirculate din canalele de coacere ale cuptorului;
- astfel, prin intermediul ventilatorului, în canalele camerei de coacere a cuptorului se introduc gaze de ardere cu temperatura necesară desfășurării procesului tehnologic de coacere a pâinii - cca. 450 °C;
- o anumită cantitate de gaze răcite, care nu sunt recirculate, părăsesc cuptorul prin coșul de fum cu temperatura de 268 °C.

Astfel, temperatura necesară a gazelor de ardere în canalele camerei de coacere a cuptorului este obținută prin intermediul unui proces de amestecare care, după cum a fost menționat anterior, este un proces foarte ireversibil, generând pierderi mari de exergie.

Alte pierderi importante de exergie în procesul de obținere a gazelor de ardere sunt cele cauzate de ireversibilitatea arderii combustibilului în camera de ardere. Dacă pierderile de exergie asociate procesului de amestecare a gazelor pot fi excluse complet prin evitarea acestuia, atunci pierderile determinate de ireversibilitatea arderii combustibilului nu pot fi decât diminuate prin înlocuirea procesului de ardere printr-un proces, în care energia chimică a combustibilului ar fi transformată direct în lucru mecanic.

În continuare, se vor propune măsuri care ar reduce pierderile de exergie asociate procesului de producere a gazelor cu o temperatură necesară efectuării procesului tehnologic în cuptoare și anume prin evitarea procesului de amestecare și micșorarea ireversibilității procesului de ardere a combustibilului.

2.1.2. Ideea și beneficiile integrării cogenerării în instalațiile de panificație

Deoarece procesele reale din cuptor sunt procese ireversibile, în acestea are loc distrugerea energiei. Îmbunătățirea proceselor, respectiv reducerea ireversibilității acestora, se poate realiza prin perfecționarea cuptorului în scopul micșorării pierderilor de exergie, ceea ce poate duce la diminuarea cheltuielilor de exploatare (datorită reducerii consumului de energie primară).

Deoarece există o diferență mare, uneori chiar de peste 1000 °C , dintre temperatura la care se desfășoară procesul de ardere a combustibililor în camera de ardere și cea necesară desfășurării procesului tehnologic (în cazul dat – coacerea pâinii), a apărut problema identificării soluțiilor cu ajutorul cărora s-ar putea valorifica căldura potențialului energetic pierdut în urma răcirii gazelor. Această punere de problemă, a generat ideea conceptului integrării cogenerării în instalațiile de cuptoare de panificație (în continuare - *CogIntegr*) [153].

Dacă cogenerarea clasică presupune utilizarea acesteia doar în scopuri energetice, atunci cogenerarea integrată presupune utilizarea acesteia și în scopuri tehnologice, adică instalația de cogenerare face parte din instalația tehnologică și, pe lângă energia electrică produsă, participă la efectuarea procesului de bază din instalația tehnologică.

Conceptul *CogIntegr* presupune integrarea unei tehnologii de cogenerare, care produce gaze de ardere într-o instalație de cuptoare, sau în alt tip de instalații, care utilizează gazele 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.

În figura 2.2. este prezentată schema bloc a conceptului *CogIntegr* aplicabil pentru instalații tehnologice care utilizează în calitate de agent termic gazele de ardere.

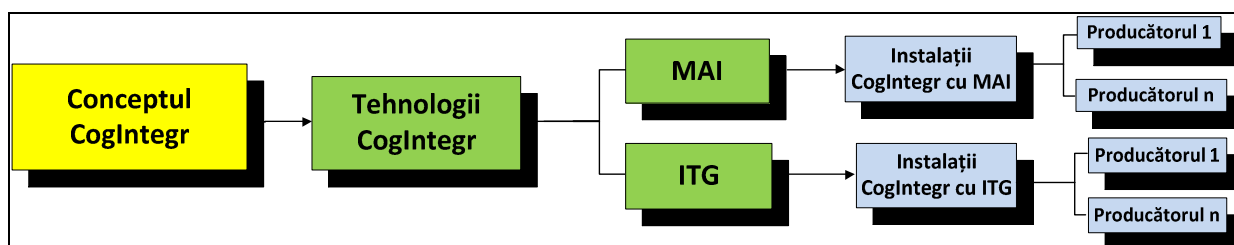


Fig. 2.2. Schema bloc a conceptului *CogIntegr*

Trebuie de remarcat faptul că, chiar dacă tehnologiile de cogenerare sunt mai multe decât cele prezentate în figura 2.2, pentru obiectul cercetării în lucrare – cuptor de panificație cu gaze, sunt adecvate tehnologiile de cogenerare cu motor cu ardere internă (în continuare - MAI) și cu

instalație de turbine 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. Astfel, potențialul pierdut în urma răcirii gazelor de ardere în cuptor (cca 1000 °C) va servi la producerea energiei electrice, care poate fi consumată pentru acoperirea parțială sau totală a necesarului de energie electrică a întreprinderii.

Beneficiile 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. Energia electrică produsă ar putea fi consumată pentru alimentarea cuptoarelor electrice de panificație (majoritatea întreprinderilor de panificație sunt dotate atât cu cuptoare pe gaze cât și electrice), sau pentru alimentarea altor echipamente și aparate electrice. Pentru întreprinderile la care energia electrică produsă va fi mai mare decât consumul intern al acestora, surplusul putea fi injectat în rețeaua externă, aducând *beneficii financiare* 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 sau ITG 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 tehnologică. Din cauza că, indiferent de productivitatea cuptorului, temperatura necesară a gazelor practic nu variază – 450-500 °C, dar

variază debitul și sarcina termică a gazelor de ardere, apare dificultatea selectării unei instalații de cogenerare compatibile cu cuptorul, mai ales în cazul ITG și în special pentru cuptoarele de productivitate mică.

Însă, efectuând un calcul riguros al parametrilor necesari ai gazelor în cuptoare și selectând o instalație de cogenerare compatibilă cu instalația respectivă, se poate de atins un randament global destul de înalt.

2.1.3. Tehnologii CogIntegr și argumentarea selectării MAI ca subiect de cercetare

O măsură efectivă de reducere a ireversibilității procesului de producere a gazelor pentru efectuarea proceselor tehnologice în cuptor, ar fi înlocuirea procesului de amestecare cu un proces de transfer de căldură, adică în cazul de față, reducerea temperaturii se va efectua prin destinderea preliminară a corpului de lucru la producerea lucrului mecanic și transferul de căldură între gazele de ardere și aerul necesar procesului de coacere. Schema de principiu al unei astfel de instalații este prezentată în figura 2.3.

În acest caz, combustibilul împreună cu aerul necesar arderii se introduc în camera de ardere a MAI, în care, în urma procesului de destindere a gazelor de ardere, se produce lucru mecanic care ulterior este transformat în energie electrică prin intermediul generatorului electric GE. Această tehnologie ar putea fi aplicată în acele tipuri de cuptoare de panificație în care gazele de ardere sunt debitate direct în camera de coacere, de aceea, este necesară utilizarea unui schimbător de căldură care ar preîncălzi cu gazele de ardere evacuate din MAI - aerul preluat direct din hala brutăriei, până la o temperatură egală cu cca. 250 °C. Ulterior acest aer va fi vehiculat în camera de coacere a cuptorului.

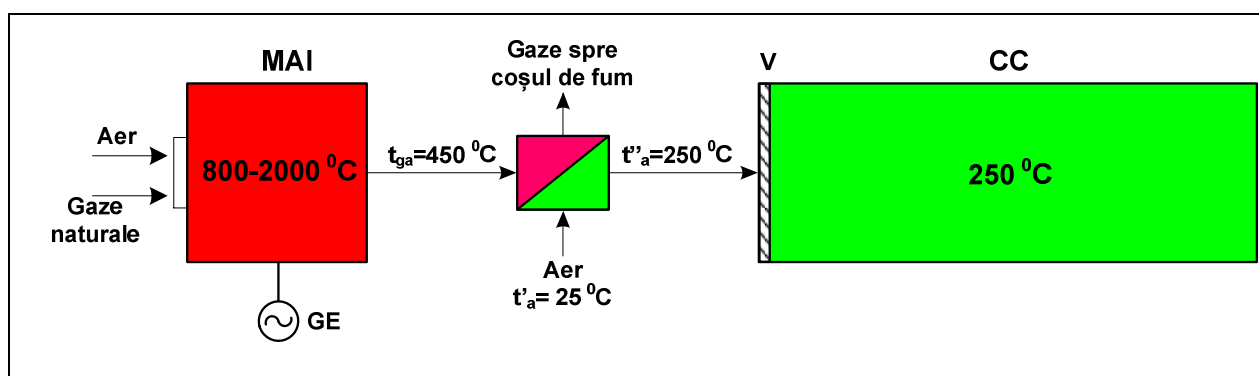


Fig. 2.3. Schema de principiu a instalației CogIntegr cu MAI și schimbător de căldură:

MAI - motor cu ardere internă; GE – generator electric; V – ventilator; CC – cameră de coacere.

Utilizarea schimbătorului de căldură este necesară din motivul că gazele de ardere, provenite de la MAI, pot conține picături de ulei de la sistemul de ungere al acestuia și nu pot fi introduse direct în camera de coacere a cuptorului, contactând direct cu suprafața aluatului. Însă, utilizarea

schimbătoarelor de căldură duce la sporirea atât a masivității instalației, cât și la creșterea costului instalației în întregime. Totodată, procesele de schimb de căldură posedă o ireversibilitate considerabilă.

În cazul cuptoarelor de tip tunel, gazele de ardere circulă prin niște canale aranjate în pereții camerei de coacere a cuptorului. Pâinea se coace fiind încălzită prin convecție și radiație de la pereții camerei de coacere în care sunt dispuse aceste canale. Astfel, în cazul cuptoarelor tunel, dispăre necesitatea utilizării schimbătorului de căldură, gazele de ardere la ieșire din MAI, având temperatura cca. 450°C , sunt vehiculate în canalele camerei de coacere. Schema de principiu a instalației propuse este prezentată în figura 2.4. Avantajul principal al acestei soluții constă în faptul că se evită complet ireversibilitatea asociată procesului de amestecare a gazelor de ardere.

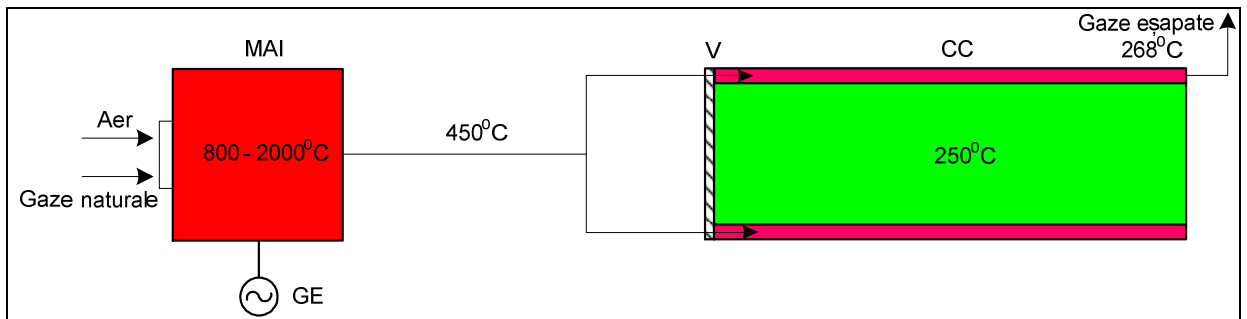


Fig. 2.4. Schema de principiu a instalației CogIntegr fără schimbător de căldură

Un alt tip de Tehnologie CogIntegr reprezintă cea cu ITG. În acest caz, principiul funcționării instalației este similar cu cel al instalației CogIntegr cu MAI, doar că instalația devine mai complexă și masivă datorită prezenței compresorului de aer și camerei de ardere separată de turbina cu gaze (fig. 2.5).

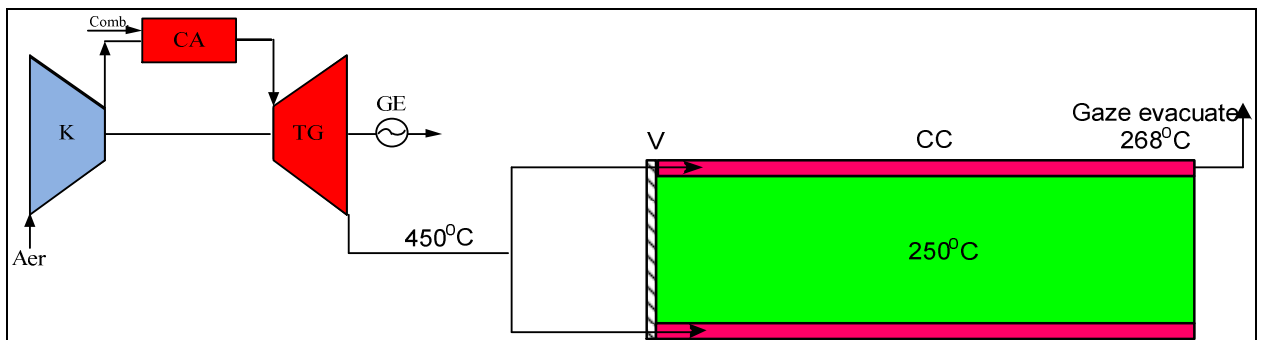


Fig. 2.5. Schema de principiu a instalației CogIntegr cu ITG:

K - compresor de aer; CA – cameră de ardere; TG – turbina cu gaze; V și CC – idem figura 2.3.

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 250 – 350 °C, precum și în cazul în care se acceptă sporirea considerabilă a puterii și respectiv a energiei produse pentru consumatorii externi.

Astfel, s-a ajuns la concluzia că unica tehnologie CogIntegr care poate fi aplicată în cadrul cuptorului de panificație studiat în lucrare este cea cu MAI. Deoarece, instalația care urmează a fi eficientizată reprezintă un cuptor de tip tunel, în lucrare se va analiza eficiența aplicării conceptului CogIntegr cu MAI de tipul celei prezentate în figura 2.4, adică fără schimbător de căldură.

2.2. Principiile analizei energetice a proceselor de obținere a gazelor de ardere

Așa cum a fost menționat în subcapitolul 1.3, orice analiză energetică începe cu delimitarea conturului în raport cu care se va întocmi bilanțul energetic. Deoarece, în lucrarea dată se urmărește scopul de a diminua pierderile de exergie în cadrul procesului de obținere a gazelor de ardere, conturul de interes va fi cel care încadrează camera de ardere CA și camera de amestec CAM a cuptorului (cu linie întreruptă în figura 2.6). În continuare, pentru acest contur se vor indica toate fluxurile de energie care sunt introduse și evacuate din limitele acestuia.

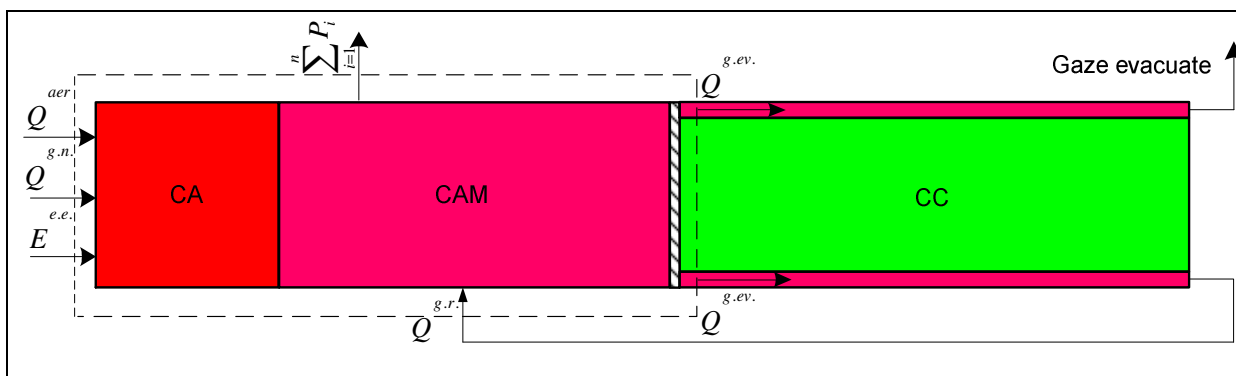


Fig. 2.6. Prezentarea fluxurilor energetice din procesul de producere a gazelor în cuptor:

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; $\sum_{i=1}^n P_i$ - fluxurile pierdute de căldură.

Ecuatia bilanțului energetic al procesului analizat se va întocmi pentru o unitate de timp și în conformitate cu relația (1.1), va primi următoarea formă:

$$Q^{g.n} + Q^{aer} + E^{e.e.} + Q^{g.r.} = Q^{g.ev.} + \sum_{i=1}^n P_i, \text{ kW} \quad (2.3)$$

Fluxul de căldură introdus cu combustibilul se compune din căldura chimică a combustibilului $Q_{ch}^{g.n.}$ și căldura sensibilă a combustibilului $Q_s^{g.n.}$:

$$Q^{g.n.} = Q_{ch}^{g.n.} + Q_s^{g.n.} = B(Q_i + c_p^{g.n.} \cdot t_{g.n.}), \text{ kW.} \quad (2.4)$$

unde: B este consumul de combustibil al arzătorului, în m^3/s ;
 Q_i - căldura de ardere inferioară a combustibilului, în kJ/m^3 ;
 $c_p^{g.n.}$ - căldura volumică a combustibilului, pentru gazul natural $c_p^{g.n.} = 1,676 \text{ kJ} / (m^3 \cdot K)$, [110];
 $t_{g.n.}$ - temperatura gazului natural, în lucrare se va considera că se preia din mediul ambiant, exterior halei de cuptoare, $t_{g.n.} = 15 \text{ }^\circ C$.

Fluxul de căldură introdus cu aerul necesar arderii, conform [111], poate fi calculat astfel:

$$Q^{aer} = B \cdot V_{aer}^0 \cdot \alpha \cdot c_p^a \cdot t_{aer}, \text{ kW} \quad (2.5)$$

unde: V_{aer}^0 este volumul teoretic de aer necesar arderii, în m^3/m^3 ;
 α - coeficientul de exces de aer la arzător;
 c_p^a - căldura volumică a aerului, în funcție de t_{aer} din [54], în $kJ / (m^3 \cdot K)$;
 t_{aer} - temperatura aerului, în $^\circ C$.

Puterea electrică a utilajelor $E^{e.e.}$ va fi egală cu puterea totală a utilajelor care participă la efectuarea proceselor din conturul delimitat, iar fluxul de căldură introdus în camera de amestec cu gazele recirculate va fi determinat cu relația:

$$Q^{g.r.} = \dot{V}_g^r \cdot c_p^g \cdot t_{g.ev}, \text{ kW.} \quad (2.6)$$

unde: \dot{V}_g^r este debitul de gaze recirculate, în m^3/s ;
 c_p^g - căldura volumică medie a gazelor de ardere, din [112] în funcție de temperatura gazelor recirculate t_{gr} , în $kJ / (m^3 \cdot K)$;
 $t_{g.ev}$ - temperatura gazelor recirculate, în $^\circ C$.

Fluxul de căldură evacuat cu gazele din camera de amestec poate fi calculat cu relația:

$$Q^{g.ev.} = \dot{V}_g^t \cdot c_p^g \cdot t_{gc}, \text{ kW.} \quad (2.7)$$

Componentele relației (2.7) au aceleași semnificații ca și în relația (2.6) dar cu referință la gazele evacuate din camera de amestec.

Pierderile de căldură (prin pereții exteriori ai camerei de ardere și a celei de amestec și prin arderea chimic incompletă a combustibilului) asociate procesului de producere a gazelor, vor rezulta din aceeași ecuație de bilanț (2.3):

$$\sum_{i=1}^n P_i = Q^{g.n.} + Q^{aer} + E^{e.e.} + Q^{g.r.} - Q^{g.ev.}, \text{ kW} \quad (2.8)$$

Randamentul energetic al procesului de producere a gazelor de ardere va fi determinat astfel:

$$\eta_{en} = Q^{g.ev.} / (Q^{g.n.} + Q^{aer} + E^{e.e.} + Q^{g.r.}) = 1 - \left[\sum_{i=1}^n P_i / (Q^{g.n.} + Q^{aer} + E^{e.e.} + Q^{g.r.}) \right]. \quad (2.9)$$

Conform [14], randamentul arderii, în cazul utilizării gazelor naturale în calitate de combustibil, poate primi valori $\eta_{en} = 0,75-0,86$.

Ca și în cazul cuptorului clasic, pentru a evalua eficiența energetică a procesului de producere a gazelor de ardere în cazul aplicării tehnologiei CogIntegr cu MAI, se va întocmi bilanțul energetic al conturului de interes, delimitat în figura 2.7 prin linie întreruptă și se vor indica toate formele de energii introduse și evacuate din conturul de referință.

Este necesar de remarcat faptul că în cazul implementării tehnologiei CogIntegr cu MAI în instalația de panificație, agentul termic necesar pentru efectuarea operațiunilor de coacere în cuptor, adică gazele de ardere, vor fi produse în camera de ardere a MAI. De aceea, conturul de interes va constitui limitele MAI-ului în sine.

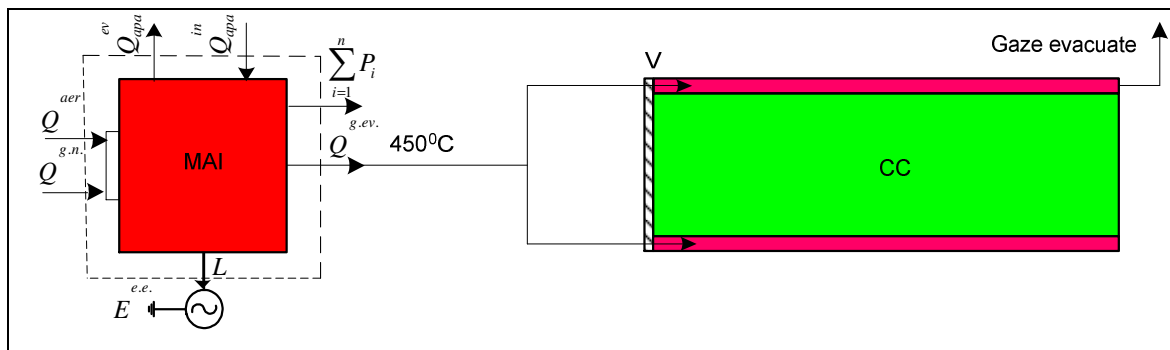


Fig. 2.7. Prezentarea fluxurilor energetice din procesul de producere a gazelor în instalația de cuptoare de tip CogIntegr cu MAI:

Q_{apa}^{ev} - fluxul de căldură evacuat cu apa de răcire a MAI; Q_{apa}^{in} - fluxul de căldură introdus cu apa de răcire;
 L – lucrul mecanic produs; Q^{aer} , $Q^{g.n.}$, $Q^{g.ev.}$, $\sum_{i=1}^n P_i$ - idem figura 2.6.

În cazul tehnologiei CogIntegr cu MAI, ecuația bilanțului energetic va conține aceleași componente ca și cel prezentat cu relația (2.3), cu excepția energiei gazelor recirculate, deoarece scopul integrării MAI în cuptorul de panificație a fost evitarea fenomenului de amestecare a gazelor pentru a spori eficiența termodinamică a procesului de producere a gazelor. În schimb, va apărea o nouă formă de energie – cea a apei de răcire a MAI:

$$Q^{g.n.} + Q^{aer} + Q_{apa}^{in} = Q^{g.ev.} + L + Q_{apa}^{ev} + \sum_{i=1}^n P_i, \quad kW \quad (2.10)$$

După întocmirea bilanțurilor energetice este necesar să se calculeze toate componentele acestora și ulterior să fie determinate randamentele energetice ale proceselor studiate.

Metodologia de calcul a elementelor din componența bilanțului energetic pentru conturul delimitat în figura 2.7 este aceeași ca și pentru cel din figura 2.6, doar că ținând cont deja de parametrii de funcționare ai motorului cu ardere internă selectat.

Fluxul de căldură introdus sau evacuat cu apa de răcire a MAI, poate fi calculat cu relația:

$$Q_{apa} = \dot{m}_{apa} \cdot c_p^{apa} \cdot t_{apa}, \text{ kW} \quad (2.11)$$

unde: \dot{m}_{apa} este debitul de apă de răcire al MAI, din pașaportul tehnic al acestuia, în kg/s;

c_p^{apa} - căldura specifică a apei, în kJ / (kg · K);

t_{apa} - temperatura apei la intrare sau ieșire din MAI, în °C.

Lucrul mecanic produs de motorul cu ardere internă poate fi determinat cu relația:

$$L = \eta_e \cdot B \cdot Q_i, \text{ kW} \quad (2.12)$$

unde: η_e este randamentul efectiv al MAI, din pașaportul tehnic al acestuia;

B - consumul de combustibil al MAI, din pașaportul tehnic al acestuia, în m³/s.

Pierderile de energie, în cazul funcționării MAI se datorează proceselor de ardere a combustibilului, de frecare a agentului de lucru, celor consumate de mecanismele auxiliare, celor pierdute în mediul ambiant prin carcasa motorului și prin ulei.

Pentru tehnologia CogIntegr cu MAI, randamentul energetic al procesului de producere a gazelor de ardere se determină astfel:

$$\eta_{en} = \frac{Q_{g.ev} + E^{e.e} + Q_{apa}^{ev}}{Q^{g.n} + Q^{aer} + Q_{apa}^{in}} = 1 - \left[\sum_{i=1}^n P_i / (Q^{g.n} + Q^{aer} + Q_{apa}^{in}) \right]. \quad (2.13)$$

2.3. Principiile analizei exergetice a proceselor de obținere a gazelor de ardere

2.3.1. Analiza exergetică a procesului cu gaze în cuptorul clasic

Pentru a efectua analiza exergetică a procesului de producere a gazelor se va utiliza metoda exergetică, esența căreia a fost prezentată în paragraful 1.3.2 și lucrarea [153]. Conform acestei metode, eficiența exergetică a procesului analizat poate fi evaluată calculând valorile exergiilor la intrare și la ieșire din conturul de referință. Astfel, pierderile de exergie asociate procesului analizat se vor determina prin diferența valorilor exergiilor introduse și evacuate din contur (figura 2.8).

Ca și în cazul evaluării eficienței energetice se va prezenta conturul de interes sub forma unei „cutii negre”, cu indicarea tuturor formelor de exergie introduse și evacuate din limitele acesteia.

Bilanțul exergetic al procesului analizat va primi forma:

$$E_x^{g.n} + E_x^{aer} + E_x^{e.e} + E_x^{g.r} = E_x^{g.ev} + \sum_{x=1}^n P_{xi}, \text{ kW} \quad (2.14)$$

În analiza termodinamică a proceselor de ardere, un interes deosebit prezintă exergia combustibilului. Mulți savanți s-au ocupat cu deducerea relațiilor de calcul al acesteia, precum Moran, Szargut, Z. Rant, N. Zaharov ș.a. Cea mai simplă și des utilizată relație de calcul a fluxului de exergie introdus cu combustibilului gazos este cea dedusă de Rant:

$$E_x^{comb} = E_x^{g.n} = 0,95 \cdot Q_i \cdot B, \text{ kW} \quad (2.15)$$

Dar relația (2.15) nu ia în considerație compoziția combustibilului analizat. De aceea, în lucrarea dată, fluxul de exergie introdus cu gazul natural va fi determinat cu ajutorul unei relații mai complexe propuse de savanții I. Szargut și T. Stîrîliska [65]:

$$E_x^{g.n} = \left(1,0334 + 0,0183 \frac{H}{C} - 0,0694 \frac{1}{C} \right) Q_i \cdot B, \text{ kW} \quad (2.16)$$

unde: H este numărul de atomi de hidrogen ai gazului natural;

C - numărul de atomi de carbon ai gazului natural.

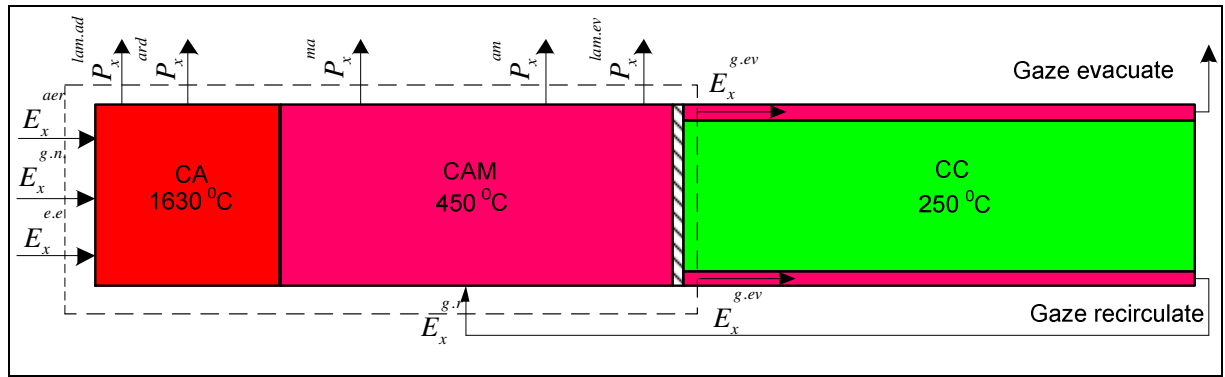


Fig. 2.8. Prezentarea fluxurilor exergetice din procesul de producere a gazelor în cuptor:

E_x^{aer} – exergia aerului introdus în CA; $E_x^{g.n}$ – exergia combustibilului introdus în CA; $E_x^{e.e}$ – exergia energiei electrice consumată; $E_x^{g.r}$ – exergia gazelor recirculate în CAM; $E_x^{g.ev}$ – exergia gazelor evacuate din CAM; P_x^{ard} – pierderile de exergie asociate procesului de ardere a combustibilului în CA; P_x^{ma} – pierderile de exergie în mediul ambiant asociate procesului de transfer de căldură dintre gazele de ardere și mediul ambiant prin pereții exteriori; P_x^{am} – pierderile de exergie asociate procesului de amestecare a gazelor în CAM; P_x^{lam} – pierderile de exergie datorate procesului de laminare a agentului de lucru în supapele de admisie și evacuare a CA.

Fluxul de exergie introdus pentru ardere este nul în cazul când aerul nu este preventiv încălzit înainte de a fi introdus în camera de ardere. Dacă aerul este preîncălzit, exergia acestuia se poate determina conform metodologiilor expuse în [62, 70, 113], iar exergia energiei electrice este egală cu valoarea energiei electrice consumate: $E_x^{e.e} = E^{e.e}$.

Fluxul de exergie al gazelor de ardere recirculate sau evacuate, poate fi calculată cu relația:

$$E_x^g = e_x \cdot \dot{V}_g, \text{ kW} \quad (2.17)$$

unde: e_x este exergia volumică a gazelor de ardere recirculate sau evacuate, în kJ/m^3 :

\dot{V}_g - debitul de gaze recirculat sau evacuat, în m^3/s .

Exergia volumică a gazelor de ardere, conform [70] este compusă din 3 componente: termică, mecanică și chimică:

$$e_x = e_x^t + e_x^p + e_x^{ch}, \quad kJ / m^3 \quad (2.18)$$

Componenta termică a exergiei gazelor de ardere va fi determinată astfel:

$$e_x^t = c'_p \left[(T_g - T_{ma}) - T_{ma} \cdot \ln \frac{T_g}{T_{ma}} \right], \quad kJ / m^3 \quad (2.19)$$

unde: c'_p este căldura volumică a gazelor de ardere recirculate sau evacuate, în intervalul de temperatură $(T_g - T_{ma})$, în $kJ/(m^3 \cdot K)$;

T_g - temperatura gazelor recirculate sau evacuate, în K;

T_{ma} - temperatura mediului ambiant, în K.

Componenta mecanică a exergiei gazelor de ardere va fi calculată cu următoarea expresie:

$$e_x^p = n \cdot R \cdot T_{ma} \cdot \ln(p / p_{ma}), \quad kJ / m^3 \quad (2.20)$$

unde: n este cantitatea de substanță a gazelor de ardere;

R - constanta caracteristică a gazelor, în $kJ/(m^3 \cdot K)$, [65, 91];

p - presiunea gazelor de ardere, în Pa;

p_{ma} - presiunea aerului din mediului ambiant, în Pa.

Componenta chimică a exergiei gazelor de ardere va fi determinată astfel:

$$e_x^{ch} = R \cdot T_{ma} \left[\sum n_i \cdot \ln(n_i / n_{oi}) + \ln(1 + X_0) \right], \quad kJ / m^3 \quad (2.21)$$

unde: n_i este cantitatea de substanță a componentului i al gazelor de ardere, în $kmol/m^3$;

n_{oi} - cantitatea de substanță a componentului i în mediul ambiant, din [70] în funcție de natura componentului, în $kmol/m^3$;

X_0 - conținutul de umiditate al aerului din mediul ambiant, conform [70] $X_0 = 0,01145 \text{ kmol}_{ap\grave{a}} / \text{kmol}_{a.u.}$.

Pierderile totale de exergie în procesul analizat, conform metodei exergetice, vor fi:

$$\sum_{i=1}^n P_{xi} = E_x^{g.n.} + E_x^{aer} + E_x^{e.e} + E_x^{g.r} - E_x^{g.ev}, \quad kW. \quad (2.22)$$

Perfecțiunea termodinamică a procesului tehnologic analizat se caracterizează prin *gradul de perfecțiune termodinamică al acestuia* γ_{ex}^{tehn} , și reprezintă raportul dintre suma fluxurilor de exergie la ieșire din conturul delimitat și suma fluxurilor de exergie la intrare în contur:

$$\gamma_{ex}^{tehn} = \frac{\sum_{i=1}^n E_{xi}^{ies}}{\sum_{i=1}^n E_{xi}^{in}} = 1 - \left(\frac{\sum_{i=1}^n P_{xi}}{\sum_{i=1}^n E_{xi}^{in}} \right). \quad (2.23)$$

2.3.2. Analiza exergetică a procesului cu gaze în instalația de cuptoare de tip CogIntegr

Ca și în cazul cuptorului clasic, pentru a face analiza exergetică a procesului de producere a gazelor în cazul tehnologiei CogIntegr cu MAI, se delimitează prin linie întreruptă acea parte a instalației în care are loc procesul respectiv (figura 2.9).

Bilanțul exergetic al procesului analizat va primi forma:

$$E_x^{g.n} + E_x^{aer} + E_x^{apa.in} = E_x^l + E_x^{g.ev} + E_x^{apa.ev} + \sum_{i=1}^n P_{xi}, kW \quad (2.24)$$

Din analiza componentelor bilanțului exergetic indicate în figura 2.9, se poate observa, că în comparație cu tehnologia clasică prezentată în figura 2.8, dispăre fluxul de exergie cu gazele recirculate $E_x^{g.r}$, și apar 3 componente noi: fluxul de exergie cu lucrul mecanic produs E_x^l (deoarece MAI-ul este o instalație energetică); cel al apei la intrare în MAI $E_x^{apa.in}$ și cel al apei la ieșire din MAI $E_x^{apa.ev}$.

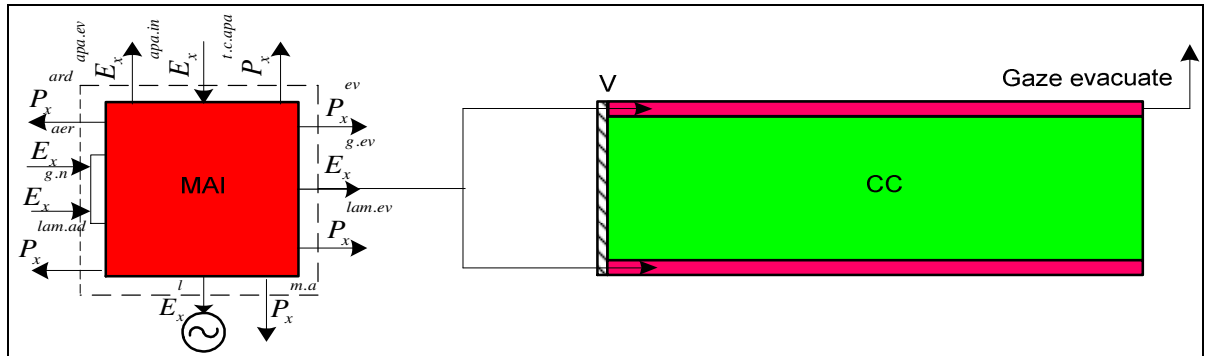


Fig. 2.9. Prezentarea fluxurilor exergetice din procesul de producere a gazelor în MAI:

$E_x^{apa.in}$ - fluxul de exergie introdus cu apa de răcire a MAI; $E_x^{apa.ev}$ - fluxul de exergie evacuat cu apa de răcire a MAI; E_x^l - fluxul de exergie cu lucrul mecanic produs; P_x^{ev} - pierderile de exergie datorate evacuării agentului de lucru; $P_x^{t.c.apa}$ - pierderile de exergie datorate transferului de căldură de la gaze la apa de răcire; E_x^{aer} , $E_x^{g.n}$, $E_x^{g.ev}$, P_x^{ard} , P_x^{ma} , P_x^{lam} - idem figura 2.8.

Fluxul de exergie cu lucrul mecanic produs este egal cu valoarea lucrului mecanic propriu zis.

Fluxul de exergie al apei poate fi calculat cu ajutorul relației:

$$E_x^{apa} = e_x^{apa} \cdot \dot{m}_{apa}, kW \quad (2.25)$$

unde: e_x^{apa} este exergia specifică a apei intrate sau evacuate, în kJ/kg ;

\dot{m}_{apa} - debitul de apă introdus sau evacuat din MAI, în kg/s .

Exergia specifică a apei poate fi determinată cu relația [114-115]:

$$e_x^{apa} = h - h_{ma} - T_{ma} (s - s_{ma}), kJ / kg \quad (2.26)$$

unde: h este entalpia apei, din tabele termodinamice [116] în funcție de temperatura și presiunea apei introduse sau evacuate din MAI, în kJ/kg ;

h_{ma} - entalpia apei, din tabele termodinamice în funcție de temperatura și presiunea mediului ambiant, în kJ/kg ;

s - entropia apei, din tabele termodinamice în funcție de temperatura și presiunea apei introduse sau evacuate din MAI, în $kJ/(kg \cdot K)$;

s_{ma} - entropia apei, din tabele termodinamice în funcție de temperatura și presiunea mediului ambiant, în $kJ/(kg \cdot K)$.

Pierderile totale de exergie în procesul cu gaze analizat, pentru tehnologia CogIntegr, vor fi determinate astfel:

$$\sum_{i=1}^n P_{xi} = E_x^{g.n} + E_x^{aer} + E_x^{apa.in} - E_x^l - E_x^{g.ev} - E_x^{apa.ev}, kW \quad (2.27)$$

Gradul de perfecțiune termodinamică al procesului de producere a gazelor în cazul producerii acestora în MAI, se va calcula cu relația (2.23).

2.3.3. Metodologia de calcul al pierderilor de exergie în procesul din cuptorul clasic

Pentru a înțelege mai bine care sunt procesele care provoacă distrugeri de exergie în procesele analizate, în scopul ameliorării acestora, este oportună analiza diagramei Grassman (fig. 1.16). Dar această diagramă poate fi întocmită numai cunoscând valorile tuturor tipurilor de pierderi exergetice. Este necesar de menționat faptul că cu ajutorul relației (2.22) se poate determina doar valoarea pierderilor totale de exergie în procesul analizat.

Pierderile de exergie pot fi clasificate în pierderi provocate de *ireversibilitatea internă* și respectiv *externă*, ca rezultat al interacțiunii cu mediul exterior.

În focarul cuptorului clasic, din categoria pierderilor interne fac parte cele cauzate de ireversibilitatea proceselor *de ardere* a combustibilului în camera de ardere, cele *de amestecare* din camera de amestec, cele *de laminare* a agentului de lucru la intrare în arzător și la ieșire din camera de amestec, iar din categoria pierderilor externe – cele *de transfer de căldură* dintre pereții focarului și mediul ambiant (fig. 2.8):

$$\sum_{i=1}^n P_{xi} = P_x^{ard} + P_x^{lam.ad} + P_x^{am} + P_x^{lam.ev} + P_x^{ma}, kW \quad (2.28)$$

Pentru a calcula pierderile de exergie datorate *arderii combustibilului* este necesar de întocmit bilanțul exergetic al camerei de ardere CA a cuptorului (fig. 2.10).

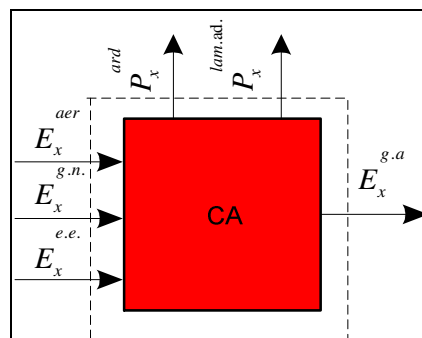


Fig. 2.10. Fluxurile exergetice ale camerei de ardere a cuptorului

Din ecuația bilanțului exergetic al CA:

$$E_x^{g.n.} + E_x^{aer} + E_x^{e.e.} = E_x^{g.a} + P_x^{ard} + P_x^{lam.ad}, kW \quad (2.29)$$

rezultă relația de calcul al pierderilor de exergie provocate de arderea combustibilului:

$$P_x^{ard} = E_x^{g.n} + E_x^{aer} + E_x^{e.e.} - P_x^{lam.ad} - E_x^{g.a}, kW. \quad (2.30)$$

Pierderile cauzate de ireversibilitatea procesului de laminare a agentului de lucru la intrare în arzător sau la evacuare din camera de amestec, pot fi calculate cu relația [108]:

$$P_x^{lam} = \left[(1 + \alpha \cdot V_{aer}^0) RT_{ma} \ln(1/(1 - \psi_a)) \right] \cdot B, kW \quad (2.31)$$

în care ψ_a reprezintă coeficientul pierderilor relative de presiune în organele de distribuție ale camerei de ardere, conform caracteristicilor tehnice ale arzătorului.

După cum a fost menționat în p. 2.1.2, în procesul de calculare a pierderilor de exergie în procesele de amestecare a două debite de gaze, trebuie să se țină cont atât de diferența de temperatură dintre acestea cât și de diferența de presiune, prin aplicarea relațiilor de tipul (2.1).

În cazul când diferența de presiune a gazelor care se amestecă este mică, sau în genere nu există, componenta cu diferența de presiune poate fi neglijată. Astfel, în cazul expus în lucrare, pierderile de exergie asociate procesului de amestecare a debitului de gaze de ardere \dot{V}_{ga} cu debitul de gaze recirculate \dot{V}_g^r în camera de amestec a focarului cuptorului, pot fi calculate cu relația expusă în [108]:

$$P_x^{am} = T_{ma} \left[\dot{V}_g^r \cdot c_p^g \cdot \ln(T_{am} / T_{gr}) - \dot{V}_g^a \cdot c_p^g \cdot \ln(T_{ga} / T_{am}) \right], kW \quad (2.32)$$

unde: T_{am} este temperatura amestecului de gaze, în K;

T_{gr} - temperatura gazelor recirculate în camera de amestec, în K;

T_{ga} - temperatura gazelor evacuate din camera de ardere în camera de amestec, în K.

Cunoscând valorile pierderilor de exergie cauzate de arderea combustibilului, laminarea agentului de lucru și procesului de amestecare, din relația (2.28) rezultă formula de calcul a pierderilor de exergie datorate transferului de căldură între pereții exteriori ai camerei de ardere și mediul ambiant:

$$P_x^{ma} = \sum_{i=1}^n P_{xi} - P_x^{ard} - P_x^{lam.ad} - P_x^{am} - P_x^{lam.ev}, kW \quad (2.33)$$

În baza valorilor corespunzătoare fiecărui tip de pierderi de exergie, se construiește diagrama Grassman, cu ajutorul căreia se poate obține o imagine mai clară despre contribuția fiecărui tip de proces ireversibil la pierderile totale de exergie în instalația analizată, în scopul identificării măsurilor de acționare asupra parametrilor decisivi în procesele analizate în scopul micșorării pierderilor de exergie.

2.3.4. Calculul pierderilor de exergie în procesul din instalația de cuptoare CogIntegr

Cauzele care provoacă cele mai mari pierderi de exergie în procesele care decurg în MAI sunt: *arderea combustibilului, evacuarea agentului de lucru din motor, laminarea agentului de lucru în organele de distribuție în timpul proceselor de admisie și evacuare, transferul de căldură de la agentul de lucru la mediul ambiant prin pereții exteriori ai motorului și cel dintre agentul de lucru și apa de răcire:*

$$\sum_{i=1}^n P_{xi} = P_x^{ard} + P_x^{ev} + P_x^{lam.ad} + P_x^{lam.ev} + P_x^{ma} + P_x^{t.c.apa}, kW \quad (2.34)$$

Pierderile cauzate de ireversibilitatea arderii combustibilului în MAI pot fi calculate astfel [109]:

$$P_x^{ard} = \left\{ \left[(1 + \gamma_r) (1 + \alpha \cdot V_{aer}^0) \right] / (k - 1) \right\} \cdot RT_{ma} \ln \lambda \cdot B, kW \quad (2.35)$$

unde: γ_r este coeficientul gazelor arse reziduale, vezi *Anexa I*;
 k - exponentul adiabatic mediu al agentului;
 R - constanta agentului termic; în $J/(kg \cdot K)$.

Pierderile cauzate de ireversibilitatea procesului de evacuare a agentului de lucru din motor, pot fi determinate astfel [108]:

$$P_x^{ev} = \left[k / (k - 1) \right] (1 + \alpha \cdot V_{aer}^0) RT_{ma} \ln (T_{ev} / T_{d'}) \cdot B, kW \quad (2.36)$$

unde: T_{ev} este temperatura termodinamică a gazelor evacuate din motor, în K ;
 $T_{d'}$ - temperatura termodinamică a gazelor rămase în cilindrul motorului la sfârșitul etapei de evacuare din motor a agentului de lucru, vezi *Anexa I*, în K .

Pierderile cauzate de ireversibilitatea procesului de laminare a agentului de lucru la admisie sau evacuare din motor, pot fi calculate cu relația (2.32), iar pierderile de exergie cauzate de ireversibilitatea transferului de căldură în mediul ambiant vor fi calculate cu relația [113]:

$$P_x^{ma} = Q \left[1 - (T_{ma} / T_p) \right], kW \quad (2.37)$$

unde: Q este fluxul de căldură pierdut în mediul ambiant prin carcasa exterioră a MAI, se calculează cu relații bazate pe teoria transferului de căldură sau din pașaportul tehnic al MAI, în kW ;
 T_p - temperatura termodinamică medie a pereților exteriori ai motorului, în K .

Astfel, conform relației (2.34), pierderile datorate ireversibilității transferului de căldură dintre gazele de ardere și apa de răcire a motorului, vor fi calculate cu relația:

$$P_x^{t.c.apa} = \sum_{i=1}^n P_{xi} - (P_x^{ard} + P_x^{ev} + P_x^{lam.ad} + P_x^{lam.ev} + P_x^{ma}), kW \quad (2.38)$$

Cunoscând valorile și ponderile fiecărui tip de pierderi exergetice se poate de prezentat diagrama Grassman pentru procesele care decurg în MAI. Astfel, mai ușor se poate de înțeles care sunt

cauzele care duc la sporirea gradului de ireversibilitate a proceselor, urmând să fie propuse măsuri pentru ameliorarea acestuia.

2.4. Algoritm de calcul al eficienței energetice a instalațiilor studiate

2.4.1. Fluxurile termice și principiul elaborării bilanțului termic al cuptorului clasic

Anterior a fost prezentată metodologia de evaluare a eficienței energetice și exergetice a procesului de obținere a gazelor în cazul celor două tehnologii studiate, cu scopul demonstrării faptului că aplicarea tehnologiei CogIntegr duce la micșorarea ireversibilității acestui proces și la sporirea randamentului perfecțiunii lui termodinamice.

Însă implementarea unui proiect de eficientizare energetică a unui proces sau a unei instalații nu trebuie să fie justificată doar din considerente tehnice, dar și economice. De aceea, pe lângă fezabilitatea tehnică a integrării cogenerării în instalația de panificație, trebuie demonstrată și fezabilitatea economică. Pentru aceasta, este necesar de evaluat eficiența energetică a instalațiilor în întregime.

Integrarea cogenerării în procesul de coacere generează beneficii termodinamice, în special, în procesele de obținere a gazelor în camerele de ardere ale tehnologiilor studiate. Deoarece, camera de coacere a cuptorului în urma integrării cogenerării rămâne nemodificată, în cazul de față, este suficient de evaluat doar eficiența energetică a instalațiilor. Mai ales că, în cazul analizei exergetice a instalației de cuptoare este extrem de dificil de calculat exergia pâinii, necunoscându-se compoziția chimică exactă a acesteia.

Pentru a înțelege care tehnologie din cele 2 analizate în lucrare este mai avantajoasă din punctul de vedere al eficienței energetice, este oportună utilizarea metodei de comparație a randamentelor termice (energetice) ale celor 2 tehnologii.

Metodologia de întocmire a bilanțurilor termice și de calcul a elementelor din componența acestuia se vor face în conformitate cu [14, 35].

În figura 2.11 este prezentată schema de principiu a cuptorului clasic cu indicarea tuturor fluxurilor de căldură introduse și evacuate în instalație. În acest caz conturul de bilanț va cuprinde limitele întregii instalații.

Ecuția generală a bilanțului termic al instalației de cuptoare va primi forma:

$$Q^{g.n} + Q^{aer} = Q_1 + \sum Q_p^{ca} + Q_p^{cg} + \sum Q_p^{cc} + Q_p^{g.ev}, kW \quad (2.39)$$

Bilanțul termic de tipul celui prezentat în relația (2.39), oferă o imagine despre modul de distribuție a căldurii combustibilului consumat pentru efectuarea procesului tehnologic de coacere a pâinii. Termenii din partea stângă a ecuației (2.39) reprezintă fluxurile de căldură

introduse în instalație pentru efectuarea procesului tehnologic de coacere a pâinii. Fluxul de căldură introdus cu aerul necesar arderii combustibilului și cu înfiltrările Q^{aer} , are o valoare mică și se va lua în considerație când se vor determina pierderile de căldură cu entalpia gazelor evacuate. Astfel, ecuația bilanțului termic va primi următoarea formă:

$$Q^{g.n} = Q_1 + \sum Q_p^{ca} + Q_p^{cg} + \sum Q_p^{cc} + Q_p^{g.ev}, kW \quad (2.40)$$

O parte din cantitatea de căldură rezultată în urma reacției de ardere a combustibilului în focar $Q^{g.n}$ se pierde prin arderea chimic și fizic incompletă a acestuia și prin pereții și fundația camerei de ardere $\sum Q_p^{ca}$, de asemenea prin pereții canalelor de gaze Q_p^{cg} și cu entalpia gazelor evacuate la coș $Q_p^{g.ev}$, restul se transmite camerei de coacere a cuptorului. Numai o parte din cantitatea de căldură primită de camera de coacere se consumă util, adică pentru coacerea pâinii – Q_1 , restul se pierde - $\sum Q_p^{cc}$.

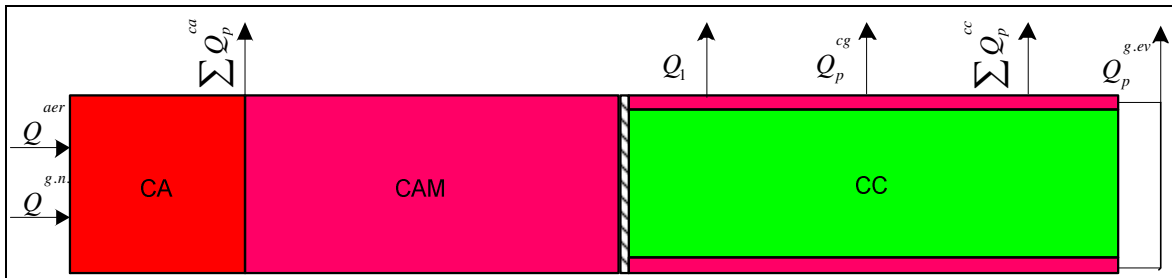


Fig. 2.11. Prezentarea fluxurilor termice pentru cuptorul clasic:

Q^{aer} – fluxul de căldură introdus cu aerul necesar arderii; $Q^{g.n}$ – fluxul de căldură introdus cu combustibilul; $\sum Q_p^{ca}$ – pierderile de căldură ale CA și CAM; Q_1 – fluxul de căldură util consumat pentru coacerea pâinii; Q_p^{cg} – pierderile de căldură din canalele de gaze; $\sum Q_p^{cc}$ – pierderile de căldură ale camerei de coacere; $Q_p^{g.ev}$ – pierderile de căldură cu gazele evacuate.

Astfel, randamentul termic (energetic) al instalației de cuptoare, în conformitate cu relația (1.2), va fi calculat astfel:

$$\eta_t = \sum_{i=1}^n Q_i^{ut} / \sum_{i=1}^n Q_i^{in} = Q_1 / Q^{g.n}. \quad (2.41)$$

2.4.2. Principiul elaborării bilanțului energetic al instalației de cuptoare de tip CogIntegr

În figura 2.12 este prezentată schema de principiu a instalației de cuptoare de tip CogIntegr cu MAI cu indicarea tuturor fluxurilor energie introduse și evacuate din instalație. În acest caz, conturul de bilanț, ca și în cazul tehnologiei clasice, va cuprinde limitele întregii instalații.

În cazul instalației de cuptoare de tip CogIntegr cu MAI, ecuația generală a bilanțului energetic va primi forma:

$$Q^{g.n} = Q_u + \sum Q_p^{ca} + Q_p^{cg} + \sum Q_p^{cc} + Q_p^{g.ev} + \Delta Q_{ar} + E_{e.e}, kW \quad (2.42)$$

O parte din cantitatea de căldură rezultată în urma reacției de ardere a combustibilului în camera de ardere a MAI $Q^{g.n}$ se pierde prin arderea chimică și mecanică incompletă a acestuia, prin frecare, prin pereții și fundația camerei de ardere și prin ulei $\sum Q_p^{ca}$, de asemenea prin pereții canalelor de gaze ale cuptorului Q_p^{cg} și cu entalpia gazelor evacuate la coșul cuptorului $Q_p^{g.ev}$. Restul – o parte va fi transformată în energie electrică $E_{e.e}$, o altă parte va fi evacuată cu apa de răcire a motorului ΔQ_{ar} și a treia parte se va transmite camerei de coacere a cuptorului. Numai o parte din cantitatea de căldură primită de camera de coacere se consumă util, adică pentru coacerea pâinii – Q_l , restul se pierde - $\sum Q_p^{cc}$.

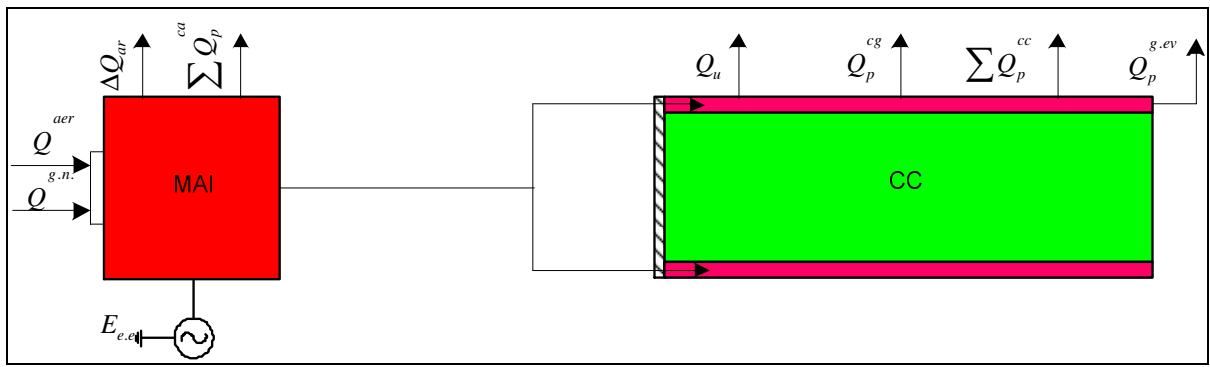


Fig. 2.12. Prezentarea fluxurilor energetice pentru tehnologia CogIntegr cu MAI:

ΔQ_{ar} cantitatea de căldură evacuată cu apa de răcire a MAI; $E_{e.e}$ - puterea electrică a MAI;

Q_{aer} ; $Q^{g.n}$; $\sum Q_p^{ca}$; Q_u ; Q_p^{cg} ; $\sum Q_p^{cc}$; $Q_p^{g.ev}$ – vezi fig. 2.11

În cazul tehnologiei CogIntegr cu MAI căldura utilă consumată va fi constituită din căldura consumată pentru coacerea pâinii în camera de coacere și căldura apei de răcire care va fi folosită pentru alte operațiuni ale procesului tehnologic de coacere a pâinii. Astfel, randamentul termic al instalației de cuptoare de tip CogIntegr cu MAI, în conformitate cu relația (1.2), va fi calculat cu relația:

$$\eta_t = \frac{\sum_{i=1}^n Q_i^{ut}}{\sum_{i=1}^n Q_i^{cons}} = (Q_l + \Delta Q_{ar}) / Q^{g.n} \quad (2.43)$$

Dar, în cazul evaluării eficienței energetice a instalației de cuptoare de tip CogIntegr, trebuie de ținut cont de faptul că această instalație va lucra în regim de cogenerare, principalul produs al căreia va fi energia electrică. De aceea, în cazul instalațiilor de acest tip, este oportun să se evalueze eficiența energetică în baza randamentului global:

$$\eta_g = \frac{\sum_{i=1}^n Q_i^{ut}}{\sum_{i=1}^n Q_i^{cons}} = (Q_l + E_{e.e} + \Delta Q_{ar}) / Q^{g.n} \quad (2.44)$$

Din analiza relațiilor (2.41, - 2.43-2.44), se creează impresia că pentru a calcula eficiența energetică a tehnologiilor studiate este suficient de determinat doar cantitățile de căldură rezultate în urma arderii combustibilului și cele util consumate dar, doar în cazul calcului tuturor componentelor bilanțului energetic se poate de asigurat corectitudinea analizei energetice, deoarece, cantitatea de căldură introdusă într-o instalație este egală cu cantitatea de căldură util consumată în aceasta plus pierderile de căldură.

2.4.3. Metodologia de calcul al componentelor bilanțurilor termice

În literatura de specialitate sunt prezentate metodologiile de calcul ale componentelor bilanțurilor termice și modalitățile de analiză a eficienței energetice a instalațiilor în baza acestora [14, 35, 49, 117].

În cele ce urmează se va expune metodologia de calcul a componentelor bilanțurilor date de relațiile (2.40, 2.42).

Căldura rezultată din arderea gazelor naturale în camera de ardere a cuptorului $Q^{g.n}$, într-o unitate de timp se va calcula cu relația (2.4).

Pierderile de căldură ale camerelor de ardere pot fi calculate cu relația:

$$\sum Q_p^{ca} = Q^{g.n} (1 - \eta_{en}^{ca}), \text{ kW} \quad (2.45)$$

în care η_{en}^{ca} reprezintă randamentele energetice al camerelor de ardere, calculate cu relațiile (2.9) și (2.13).

Transmiterea căldurii din camera de ardere în camera de coacere se face cu pierderi. Acestea au loc prin pereții canalelor Q_p^{cg} . La general, valoarea acestor pierderi, conform [35], poate fi evaluată cu relația:

$$\sum Q_p^{ca} = Q^{g.n} (1 - \eta_{en}^{ca}), \text{ kW} \quad (2.46)$$

unde $Q_{cc} = Q_1 + \sum Q_p^{cc}$, kW este fluxul de căldură primit de camera de coacere de la canalele de gaze, iar η_{en}^{ca} reprezintă randamentul camerei de ardere.

Pierderile de căldură cu entalpia gazelor evacuate la coș pot fi calculate cu relația [14, 54]:

$$Q_p^{g.ev} = B \left(h_g^{ev} - \alpha_{ev} \cdot V_{aer}^0 \cdot c_p^a \cdot t_{aer} \right), \text{ kW} \quad (2.47)$$

unde: h_g^{ev} este entalpia gazelor evacuate la coș, în kJ/m^3 ;
 α_{ev} - coeficientul de exces de aer la coș.

Pentru a transforma aluatul în pâine este necesar de comunicat acestuia o cantitate de căldură pentru formarea miezului și cojii, precum și pentru evaporarea apei din straturile exterioare care

se transformă în coajă. Astfel, căldura utilă consumată pentru coacerea pâinii, conform [14, 35], va fi calculată cu relația:

$$Q_1 = (G / 3600) \left[g_m \cdot c_p^m \cdot (t_m - t_{al}) + g_c \cdot c_p^c \cdot (t_c - t_{al}) + w_{ev} (h_{sup} - h) \right], kW \quad (2.48)$$

- unde: G este productivitatea cuptorului, în kg/h ;
 g_m, g_c - cantitatea de miez, respectiv de coajă, obținute după coacerea unui kg de pâine, în kg/kg ;
 c_p^m, c_p^c - capacitatea termică masică respectiv ale miezului și cojii pâinii, din [118], în $kJ/(kg \cdot K)$;
 t_m, t_c, t_{al} - temperatura respectiv a miezului, cojii și aluatului, în $^{\circ}C$;
 w_{ev} - cantitatea de apă evaporată din aluat în timpul coacerii, în kg/kg :
 $w_{ev} = (g_a - g_p) / g_p$; (2.49)
 g_a, g_p - masa respectiv a semifabricatului (bucății de aluat) și a unei pâini coapte, în kg ;
 h_{sup} - entalpia specifică a aburului supraîncălzit, din tabele termodinamice, în funcție de temperatura în prima zonă a camerei de coacere t_{cc} și presiunea atmosferică, în kJ/kg ;
 h - entalpia specifică a apei din aluat, în kJ/kg , $h = 4,19 \cdot t_{al}$.

Pierderile de căldură din camera de coacere $\sum Q_p^{cc}$, pentru cazul analizat în lucrare, se compun din fluxul de căldură necesar supraîncălzirii aburului saturat folosit pentru umezirea camerei de coacere Q_2 fluxul de căldură necesar încălzirii aerului pătruns prin ventilație în camera de coacere Q_3 fluxul de căldură necesar încălzirii benzii transportoare a cuptorului Q_4 fluxul de căldură pierdut prin pereții exteriori ai cuptorului Q_5 și fluxul de căldură pierdut prin radiația orificiilor deschise Q_6 .

Pentru formarea crustei pâinii este necesar ca suprafața aluatului să fie tratată cu abur. Cantitatea de căldură consumată pentru vaporizarea apei din straturile superioare ale semifabricatului și pentru supraîncălzirea aburului saturat poate fi determinată cu relația [14, 35]:

$$Q_2 = (G / 3600) \cdot \dot{m}_{abur} \cdot (h_{sup} - h_s), kW \quad (2.50)$$

- unde: \dot{m}_{abur} este cantitatea de abur introdus în camera de coacere pentru aburirea unui kg de pâine coaptă:

$$\dot{m}_{abur} = D / G, kg_{abur} / kg_{pâine} \quad (2.51)$$

- D - debitul de abur introdus în cuptor, în kg/h ;
 h_s - entalpia aburului de joasă presiune:
 $h_s = h' + rx$, kJ/kg (2.52)
 h', r - entalpia specifică a apei și căldura latentă de vaporizare a apei, din [117] în funcție de presiunea absolută a aburului utilizat pentru aburirea pâinii, în kJ/kg ;
 x - titlul de vapori al aburului.

Pentru coacerea bucăților de aluat în cuptor circulă aer, care este încălzit de la pereții camerei de coacere. Aerul rece intră printr-un capăt al camerei de coacere de tip tunel și apoi iese prin celălalt capăt. Aerul evacuat conține vapori formați prin evaporarea apei din aluat în procesul de coacere w_{ev} și aburul care a fost introdus în zona de aburire și nu s-a condensat pe suprafața aluatului \dot{m}_{abur} .

Fluxul de căldură necesar încălzirii aerului rece pătruns prin ventilație în camera de coacere Q_3 poate fi calculat cu relația [14, 35]:

$$Q_3 = (G / 3600) \cdot L \cdot (t''_{cc} - t_{aer}), kW \quad (2.53)$$

unde: t''_{cc} este temperatura aerului care iese din camera de coacere, în $^{\circ}C$;

L - cantitatea de aer ce intră în camera de coacere pentru 1 kg de pâine coaptă:

$$L = (w_{ev} + \dot{m}_{abur}) / (d_{cc} - d_{aer}), kg_{aer} / kg_{pâine} \quad (2.54)$$

d - conținutul de umiditate al aerului respectiv evacuat și intrat în camera de coacere, din diagrama h-d pentru aerul umed, în funcție de temperatura și umiditatea aerului evacuat și intrat, în $kg_{apă}/kg_{aer.uscat}$.

Cantitatea de căldură consumată pentru încălzirea aerului poate constitui cca 10% din Q_{cc} , [14].

În cazul cuptoarelor de tip tunel, banda transportoare a acestora intră printr-un capăt al cuptorului și apoi iese prin celălalt cu temperaturi diferite. Cantitatea de căldură consumată pentru încălzirea benzii transportoare poate fi determinată cu relația [35]:

$$Q_4 = (G / 3600) \cdot g_b \cdot c_p^b \cdot (t''_b - t'_b), kW \quad (2.55)$$

unde: g_b este masa benzii raportată la 1 kg de pâine coaptă:

$$g_b = m_b / m_{p.c}, kg_{bandă} / kg_{pâine} \quad (2.56)$$

m_b - masa benzii transportoare, din pașaportul tehnic al cuptorului, în kg ;

$m_{p.c}$ - masa pâinii coapte pe bandă, din pașaportul tehnic al cuptorului, în kg ;

c_p^b - capacitatea termică a masică a metalului din care este executată banda, în $kJ/(kg \cdot K)$;

t''_b, t'_b - temperatura benzii respectiv la ieșire și intrare în cuptor, în $^{\circ}C$.

Pierderile de căldură prin pereții exteriori ai cuptorului Q_5 au loc prin convecție și radiație termică și calculul lor se face în baza relațiilor preluate din teoria transferul de căldură [119]. Metodologia de calcul a acestor pierderi este prezentată în Anexa 2. Cantitatea de căldură pierdută prin pereții exteriori ai cuptorului poate constitui 10 - 15% din Q_{cc} , [14].

Fluxul de căldură pierdut prin radiația găurilor deschise Q_6 au loc prin gurile de încărcare și prin gurile de vizitare. Deoarece procesul de lucru al cuptorului analizat este practic complet automatizat, aceste pierderi pot fi neglijate.

Fluxul de căldură introdus sau evacuat din MAI odată cu apa de răcire a acestuia poate fi calculat cu relația (2.11) sau preluat din pașaportul tehnic al MAI.

Astfel, cunoscându-se toate componentele bilanțurilor termice (energetice) analizate, se pot determina valorile randamentelor termice ale celor două instalații studiate și se vor întocmi diagramele Sankey pentru a avea o imagine mai clară despre modul de distribuție a căldurii combustibilului introdus în instalații și despre valoarea pierderilor de căldură, în scopul de a identifica soluții de micșorare a acestora.

Concluzii la capitolul 2

1. Cu cât gradul de ireversibilitate a proceselor tehnologice este mai mare, cu atât eficiența energetică a acestora este mai mică. De aceea, este foarte important de identificat procesele cu un grad înalt de ireversibilitate, de înțeles cauzele care duc la creșterea ireversibilității acestora și de propus măsuri pentru diminuarea acesteia.
2. Unele din cele mai ireversibile procese care au loc în instalațiile de panificație de tip tunel, sunt cele de obținere a gazelor de ardere cu parametrii necesari coacerii pâinii. Gradul înalt de ireversibilitate a acestui proces se datorează, în special, arderii combustibilului și amestecării gazelor. În scopul sporirii eficienței energetice se propune de a evita/exclude procesul de amestec al gazelor de ardere, precum și de a micșora ireversibilitatea cauzată de ardere combustibilului prin integrarea unei instalații de cogenerare în instalația de panificație. Instalația de cogenerare va produce energie electrică pentru alimentarea echipamentelor electrice din cadrul brutăriei, iar gazele de ardere evacuate, vor fi debitate în canalele camerei de coacere a pâinii.
3. În lucrare este propus și dezvoltat un concept de integrare a tehnologiei clasice de cogenerare într-un sistem tehnologic industrial, ceea ce conduce la modificarea fluxurilor energetice în sistem, iar în consecință - și la sporirea eficienței energetice a acestuia. Acest concept în lucrare este denumit – *conceptul CogIntegr.*
4. În cadrul acestui concept cogenerarea este privită mai mult decât o sursă de producere combinată a energiei electrice și energiei termice, deoarece această tehnologie în plus permite de a obține și produse tehnologice (pentru cazul abordat în lucrare - pâinea).
5. În teză, în particular, s-a propus de a integra instalația de panificație pe gaze naturale cu instalația de cogenerare (bazată pe aplicarea motorului cu ardere internă). Această integrare profundă conduce la o schimbare esențială a fluxurilor energetice din cadrul fabricii de panificație și ca urmare, la sporirea eficienței energetice.
6. Important de menționat, că tehnologii de cogenerare sunt multe, însă în cazul cuptoarelor alimentate cu gaze, teoretic ar fi posibilă aplicarea a două tehnologii de cogenerare - bazate

pe instalația de turbine cu gaze (ITG) și pe instalația de motor cu ardere internă (MAI). Întrucât temperatura gazelor eșapate din ITG este mult mai mică decât temperatura necesară coacerii pâinii, rezultă că doar cogenerarea bazată pe MAI, poate fi integrată cu instalația de panificație.

7. Pentru a demonstra faptul că integrarea cogenerării în instalația de panificație va diminua gradul de ireversibilitate a procesului de obținere a agentului de lucru, este necesar de efectuat atât analiza energetică cât și analiza exergetică a procesului dat, pentru instalația clasică de panificație și cea integrată cu MAI.
8. Evaluarea eficienței energetice a celor două tehnologii studiate se face în baza întocmirii bilanșurilor energetice ale instalațiilor studiate, cu compararea ulterioară a randamentelor energetice obținute.

3. EVALUAREA EFICIENȚEI ENERGETICE ȘI EXERGETICE ALE PROCESELOR ȘI INSTALAȚIILOR STUDIAȚE

3.1. Caracteristicile necesare pentru dimensionarea și selectarea instalației de cogenerare

3.1.1. Descrierea cuptorului de tip PPP – tehnologie clasică de panificație

În calitate de obiect al cercetării în lucrarea dată va constitui cuptorul de panificație cu gaze de tip PPP 3. 54. 211 (în continuare - cuptor clasic PPP), de producție cehă, în special pentru faptul că acesta este utilizat pentru coacerea pâinii la cel mai mare Combinat de panificație din țara noastră. Acest cuptor este destinat pentru coacerea diferitor sortimente de pâine și produse de franzelărie din făină de grâu sau secară. Forma cuptorului este de tip tunel, deschis la ambele capete (fig 3.1). Semifabricatele se coc direct pe banda rulantă a cuptorului fabricată din metal. Viteza de mișcare a benzii rulante poate fi modificată prin intermediul cutiei de viteze (21).



a) cuptor



b) banda rulantă

Fig. 3.1. Vederi ale cuptorului PPP 3 54. 211

Construcția cuptorului (fig. 3.2) constă din elemente de încălzire care după asamblare realizează volumul de coacere a cuptorului sub formă de tunel. Prin tunel trece ramificația superioară a benzii transportoare 20.

În calitate de combustibil cuptorul consumă gaze naturale care sunt arse cu ajutorul arzătorului 1 de tip Weishaupt WG30, cunoscut prin fiabilitate și economicitate sporită.

Pereții cuptorului sunt bine termoizolați cu plite și fășii 19, din material termoizolant de calitate, care asigură pierderi minime de căldură prin pereții cuptorului.

Crusta pâinii se obține prin umezirea suprafeței exterioare a aluatului cu abur. Acesta este introdus în camera de coacere prin intermediul canalelor de abur 15, confecționate din metal antioxidant. Clapeta de reglare 13 asigură evacuarea, prin canalul 14 a surplusului de abur.

În camera de ardere 2 sunt arse gazele naturale cu ajutorul arzătorului 1. După aceea gazele de ardere trec în camera de amestecare 3. Aici, gazele de ardere fierbinți 11, evacuate din camera de

ardere, sunt amestecate cu gaze recirculate 12, astfel, asigurându-se temperatura necesară a gazelor de ardere în canalele camerei de coacere ale cuptorului. Gazele astfel obținute sunt vehiculate în canale cu ajutorul ventilatorului ciclotermic 8. Gazele de ardere părăsesc zona de coacere prin coșul de fum 9 în mediul ambiant.

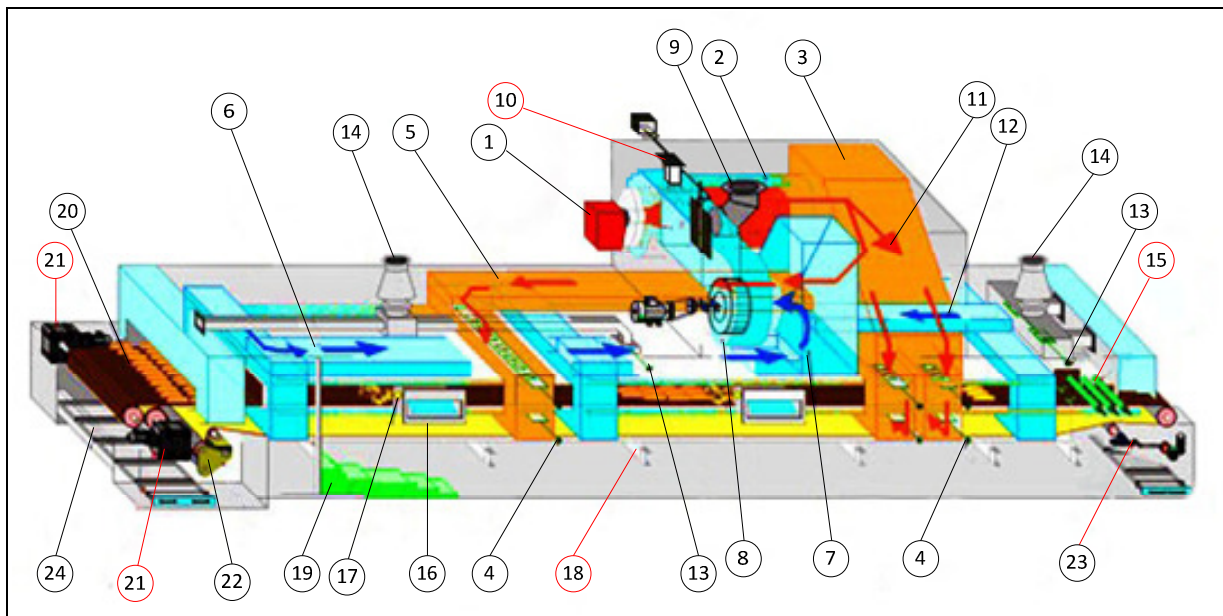


Fig. 3.2. Vederea în axonometrie a cuptorului PPP 3 54.211, [120]:

1 - arzător; 2 - cameră de ardere; 3 - cameră de amestecare; 4 - regulator de temperatură în radiatoare;
 5 - canal de distribuție a gazelor de ardere fierbinți; 6 - canal de recirculare a gazelor de ardere răcite;
 7 - camera de adunare a gazelor de ardere; 8 - ventilator ciclotermic cu turație variabilă; 9 - coș de evacuare a gazelor de ardere; 10 - clapetă de siguranță; 11 - gaze de ardere fierbinți; 12 - gaze de ardere răcite; 13 – clapetă de reglare a evacuării surplusului de abur din cuptor; 14 - canal de evacuare al surplusului de abur din cuptor; 15 - canale duble pentru abur; 16 - fereastră de vizare; 17 - iluminat al camerei de coacere; 18 - bară cu căptușeală termoizolantă; 19 - izolare termică; 20 - bandă transportoare; 21 - cutie de viteză pentru banda rulantă; 22 - mecanism de întindere a benzii transportoare cu greutate; 23 - dispozitiv lateral pentru reglarea benzii; 24 - captatoare mobile de gunoi.

3.1.2. Metode și aparate utilizate pentru colectarea datelor experimentale

Pentru a obține valori veridice ale eficienței energetice și exergetice a procesului de producere a gazelor de ardere în cuptorul PPP, cât și a eficienței energetice a instalației de panificație, a fost necesar să se opereze cu parametri reali de funcționare ai cuptorului.

Valorile unor mărimi experimentale au fost culese direct cu ajutorul aparatelor de măsură, precum: analizor de gaze, termometru cu infraroșu, termometru cu imersie și cântar. Alte valori au fost preluate din pașaportul tehnic al cuptorului PPP 3 54.211 ST, iar unele – din Cartea de regim a cuptorului (Anexa 3).

Valorile temperaturilor gazelor de ardere, compoziția acestora, valorile coeficientului de exces de aer în diferite zone ale cuptorului cât și temperatura aerului din mediul ambiant au fost măsurate cu ajutorul analizorului de gaze (fig. 3.3).



a)



b)

Fig. 3.3. Culegerea datelor experimentale cu ajutorul analizorului de gaze:

a) în arzător; b) în camera de coacere a cuptorului PPP.

Temperaturile aerului din cele 4 zone ale camerei de coacere au fost citite de pe tabloul de comandă ale cuptorului (fig. 3.4).



Fig. 3.4. Tabloul de comandă a cuptorului PPP

Temperaturile pereților exteriori ai cuptorului cât și la suprafața cojii pâinii au fost măsurate cu ajutorul termometrului cu infraroșu, iar temperatura miezului pâinii fierbinți – cu ajutorul termometrului cu imersie.

În tabelul 3.1 sunt indicați parametrii și caracteristicile de bază ale cuptorului analizat, valorile cărora vor fi utilizate în calculele.

Tabelul 3.1. Caracteristicile de bază ale cuptorului PPP

Nr.	Caracteristici	Simbol	Unitate	Valoare	Sursa de obținere
1	Dimensiunile de gabarit, <i>lățime</i> × <i>lungime</i> × <i>înălțime</i>	$L \times l \times h$	m	3,0×20,6×3,05	Pașaport tehnic
2	Combustibil	-	-	Gaze naturale	Pașaport tehnic
3	Consumul de combustibil	B	m^3/s	0,014	Carte de regim
4	Productivitatea cuptorului	G	kg/h	972	Pașaport tehnic
5	Masa pâinii care se coace pe bandă	$m_{p.c}$	kg	324	Numărare
6	Conținutul de miez în pâine	g_m	kg_m/kg_p	0,51	Cântar
7	Conținutul de coajă în pâine	g_c	kg_c/kg_p	0,49	Cântar
8	Masa unei bucăți de aluat	g_a	kg	0,53	Cântar
9	Masa unei pâini	g_p	kg	0,45	Cântar
10	Temperatura miezului pâinii fierbinți	t_m	$^{\circ}C$	98	Termometru cu imersie
11	Temperatura cojii pâinii fierbinți	t_c	$^{\circ}C$	140	Termometru infraroșu
12	Temperatura aluatului	t_a	$^{\circ}C$	25	Termometru infraroșu
13	Consumul de abur în camera de coacere	D	kg/h	240	Debitmetru fix
14	Presiunea aburului injectat în cuptor	p_{abur}	kPa	20	Manometru fix
15	Titlu de vapori al aburului	x	-	0,9	Discuție operator cazan
16	Suprafața deschiderilor de alimentare ale cuptorului	$S_{deschid}$	m^2	1,134	Metru rolă
17	Durata de funcționare a cuptorului	τ	h/zi	22/24	Discuție operator cuptor
18	Temperatura aerului în camera de coacere	t_{zona1} t_{zona2} t_{zona3} t_{zona4}	$^{\circ}C$	217 232 229 220	Tablou de comandă
19	Temperatura gazelor la intrare în canale	t_{gc}	$^{\circ}C$	450	Analizor de gaze
20	Valorile coeficientului de exces de aer: - la arzător - la coșul de fum	α	-	1,1 1,3	Carte de regim Analizor gaze
21	Temperatura gazelor evacuate la coș	$t_{g.ev}$	$^{\circ}C$	268	Analizor gaze
22	Temperatura aerului din secția de producere	t_{aer}	$^{\circ}C$	24	Analizor gaze
23	Umiditatea relativă a aerului din camera de coacere	φ_{cc}	%	40	Psihrometru
24	Umiditatea relativă a aerului din secția de producere	φ_{aer}	%	70	Psihrometru
25	Temperatura pereților exteriori ai cuptorului	t_p	$^{\circ}C$	35	Termometru infraroșu
26	Masa benzii transportoare	m_b	kg	198	Pașaport tehnic
27	Temperatura benzii la intrare în cuptor	t'_b	$^{\circ}C$	30	Termometru infraroșu
28	Temperatura benzii la ieșire din cuptor	t''_b	$^{\circ}C$	166	Termometru infraroșu
29	Presiunea gazelor în canalele de coacere	p	Pa	110000	Pașaport tehnic
30	Presiunea mediului ambiant	p_{ma}	Pa	98642	Barometru

3.1.3. Parametrii necesari pentru selectarea instalației de cogenerare

Pentru a selecta motorul cu ardere internă care urmează a fi integrat în cuptorul analizat în lucrare, este necesar să se cunoască debitul și temperatura gazelor de ardere, precum și sarcina

termică a acestora la ieșire din camera de amestec a cuptorului clasic. MAI se va selecta astfel încât gazele de ardere evacuate din acesta vor avea aceeași parametri.

Pentru a putea determina debitul necesar de gaze de ardere este necesar de efectuat calculul procesului de ardere a combustibilului. Cuptorul analizat utilizează în calitate de combustibil gaze naturale, compoziția cărora este prezentată în tabelul 3.2 [121].

Tabelul 3.2. Caracteristicile gazelor naturale

Caracteristici	Simbol	Unitate	Valoare
Metan	CH_4	%	97,102
Etan	C_2H_6	%	1,438
Propan	C_3H_8	%	0,460
Butan	C_4H_{10}	%	0,151
Pentan	C_5H_{12}	%	0,027
Hexan	C_6H_{14}	%	0,009
Dioxid de carbon	CO_2	%	0,091
Azot	N_2	%	0,722
Căldura de ardere	Q_i	MJ/m ³	33,03

Volumul gazelor de ardere, obținute în rezultatul procesului de ardere a combustibilului, de obicei se compun din gaze triatomice RO_2 (CO_2 și SO_2), gaze biatomice R_2 (în special N_2), vapori de apă H_2O și aerul excesiv.

Metodologia de calcul cât și rezultatele calculelor volumelor componentelor gazelor obținute în urma arderii gazelor naturale în focarul cuptorului sunt expuse în Anexa 4. În tabelul 3.3 sunt prezentate rezultatele calculului respectiv.

Tabelul 3.3. Volumele componentelor gazelor de ardere

Componente gaze de ardere	V_{RO_2}	V_{R_2}	V_{H_2O}	V_{aer}^0
Valori, m ³ /m ³	1,02	7,78	2,17	9,76

Conform [122], volumul gazelor de ardere, obținute în focarul cuptorului, poate fi determinat cu relația:

$$V_g = V_{RO_2} + V_{R_2} + V_{H_2O} + (\alpha - 1)V_{aer}^0 = 1,02 + 7,78 + 2,17 + (1,1 - 1) \cdot 9,76 = 11,95 \text{ m}^3 / \text{m}^3. \quad (3.1)$$

unde: V_{RO_2} este volumul teoretic al gazelor triatomice, în m³/m³;

V_{R_2} - volumul teoretic al gazelor biatomice, în m³/m³;

V_{H_2O} - volumul vaporilor de apă, în m³/m³;

α - coeficientul de exces de aer în zona de interes a traseului de gaze de ardere;

V_{aer}^0 - volumul minim teoretic de aer necesar arderii 1 m³ de gaz natural, în m³/m³.

Volumul de gaze de ardere obținut cu relația (3.1), reprezintă acel volum de gaze care se produce la arderea unei unități de combustibil în camera de ardere a cuptorului. La arderea debitului de combustibil B se va produce un debit total de gaze de ardere:

$$\dot{V}_{ga} = B \cdot V_g = 0,014 \cdot 11,95 = 0,17 \text{ m}^3 / \text{s}. \quad (3.2)$$

Din figura 2.1 se observă că debitul total de gaze de ardere la ieșire din camera de amestec \dot{V}_g^t se compune din debitul de gaze de ardere fierbinți \dot{V}_{ga} produs în camera de ardere, și debitul de gaze recirculate \dot{V}_g^r . Pentru a putea determina ultimele 2 mărimi necunoscute este necesar de determinat gradul de recirculare a gazelor de ardere în camera de amestec [34, 123]:

$$r = \frac{Q_i - h_g^{450^\circ\text{C}}}{h_g^{450^\circ\text{C}} - h_g^{268^\circ\text{C}}} = \frac{33030 - 8237}{8237 - 5146} = 8,02, \quad (3.3)$$

în care $h_g^{450^\circ\text{C}}$ și $h_g^{268^\circ\text{C}}$ sunt valorile entalpiei gazelor de ardere respectiv la temperatura de 450°C și 268°C .

Entalpiile gazelor de ardere, ținând cont de faptul că acestea reprezintă amestecuri de gaze perfecte, vor fi determinate considerând valorile respective ale temperaturii lor și ale coeficientului de exces de aer în fiecare zonă a cuptorului cu relații de tipul:

$$h_g^t = t_g \left[V_{RO_2} \cdot c_{CO_2} + V_{R_2} \cdot c_{N_2} + V_{H_2O} + (\alpha - 1) \cdot V_{aer}^0 \cdot c_a \right], \text{ kJ} / \text{m}^3. \quad (3.4)$$

unde: t_g reprezintă temperatura gazelor, în $^\circ\text{C}$;

c_i - căldurile volumice ale gazelor respective, în $\text{kJ}/(\text{m}^3 \cdot \text{K})$.

Rezultatele calculelor valorilor entalpiei gazelor de ardere la temperaturile de 268 și 450°C sunt prezentate în Anexa 4.

Totodată, conform relației propuse în [124], se poate deduce relația de calcul a debitului de gaze recirculate:

$$r = \frac{\dot{V}_{ga} + \dot{V}_g^r}{\dot{V}_{ga}} \Rightarrow \dot{V}_g^r = 1,19 \text{ m}^3 / \text{s}, \quad (3.5)$$

iar debitul total de gaze de ardere introduse în canalele camerei de coacere a cuptorului vor constitui:

$$\dot{V}_g^t = \dot{V}_{ga} + \dot{V}_g^r = 0,17 + 1,19 = 1,36 \text{ m}^3 / \text{s}. \quad (3.6)$$

În tabelul 3.4 sunt indicate valorile debitelor gazelor de ardere în diferite compartimente ale focarului cuptorului. Din analiza datelor prezentate în tabelul 3.4 se observă că valoarea debitului de gaze recirculate în camera de amestec CAM a cuptorului este foarte mare în raport cu debitul de gaze de ardere produse de camera de ardere a cuptorului. Acest fapt este cauzat de necesitatea unui debit mare de gaze de ardere recirculate pentru a răci gazele din CA până la temperatura necesară a acestora în canalele CC ale camerei de coacere a cuptorului.

Sarcina termică a gazelor de ardere introduse în canalele camerei de coacere (respectiv a gazelor de ardere evacuate din MAI) va fi egală cu:

$$Q = \dot{V}_g^i \cdot c_p^g (t_{gc} - t_{g.ev}) = 1,36 \cdot 1,431(450 - 268) = 354 \text{ kW}. \quad (3.7)$$

în care c_p^g reprezintă căldura specifică volumică a gazelor de ardere pentru intervalul de temperatură $(t_{gc} - t_{g.ev})$, [116].

Tabelul 3.4. Debitul gazelor de ardere în diferite compartimente ale focarului cuptorului

	La ieșire din CA	Recirculare în CAM	La ieșire din CAM
Notății	\dot{V}_{ga}	\dot{V}_{gr}	\dot{V}_{gt}
Valori, m^3/s	0,17	1,19	1,36

3.1.4. Selectarea motorului cu ardere internă pentru aplicarea tehnologiei CogIntegr

Motorul cu ardere internă se alege în dependență de puterea termică a camerei de coacere a cuptorului, astfel încât sarcina termică a cuptorului să corespundă fluxului termic al gazelor de ardere eșapate din motorul cu ardere internă. De asemenea, debitul gazelor de ardere la ieșire din motor trebuie să asigure necesarul de gaze de ardere în canalele camerei de coacere [152].

S-a selectat motorul cu ardere internă de tip PG475B. Acest tip de motor este prezentat în figura 3.5, compania producătoare – FG Wilson (Marea Britanie) [125]. Caracteristicile motorului sunt prezentate în tabelul 3.5.

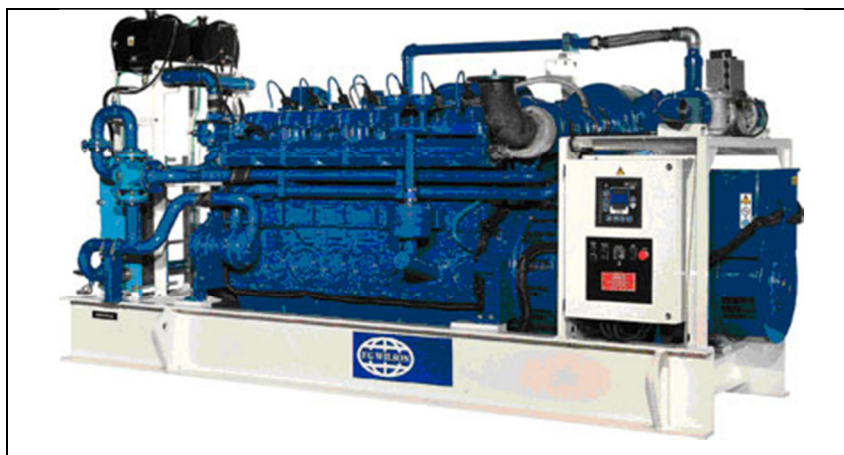


Fig. 3.5. Vedere motor cu ardere internă PG475B [125]

Tabelul 3.5. Caracteristicile motorului cu ardere internă PG475B

Nr.	Caracteristici	Unitate	Valoare
1	2	3	4
1.	Puterea termică a gazelor de ardere evacuate din motor	kW	356
2.	Puterea electrică a motorului	kW	380
3.	Consumul de gaze naturale	m^3/h	126,6
4.	Coeficient de exces de aer în camera de ardere	-	1,5
5.	Debitul gazelor de ardere	m^3/min	97,5
6.	Temperatura gazelor eșapate	$^{\circ}C$	474

Tabelul 3.5. (Continuare)

1	2	3	4
7.	Frecvența de rotație	rot/min	1500
8.	Fluxul termic cedat apei de răcire	kW	327
9.	Fluxul de căldură cedat mediului ambiant prin radiație	kW	27
10.	Randamentul electric	%	32,7
11.	Randamentul termic	%	58,8
12.	Randamentul global	%	91,5
13.	Masa	kg	6125
14.	Dimensiunile, $L \times l \times h$	mm	4671×1652×2207
15.	Raportul de comprimare	-	9,5

Pentru răcirea motorului cu ardere internă, s-a selectat un schimbător de căldură apă-apă, sarcina termică a căruia trebuie să asigure evacuarea fluxului termic de răcire, indicat în tab. 3.5. Parametrii de bază ai schimbătorului de căldură sunt indicați în tabelul 3.6.

Tabelul 3.6. Caracteristicile schimbătorului de căldură pentru răcirea MAI [126]

Caracteristici	Unitatea	Valoarea
Sarcina termică	kW	323
Debit apă de răcire a motorului	kg/s	2,48
Temperatura apei la intrare în MAI	°C	39
Temperatura apei la ieșire din MAI	°C	70

Pentru toată gama de capacități ale cuptoarelor de tip PPP, categoria „Standard” s-au efectuat aceleași calcule ca și pentru cuptorul PPP 3 54.211 ST și s-au determinat parametrii necesari pentru selectarea MAI (tabelul 3.7).

Tabelul 3.7. Valoarea parametrilor pentru selectarea MAI compatibile cu cuptoarele PPP

Tip cuptor	Capacitate, kg/h	Consum combustibil, m ³ /h	Debit gaze eșapate, m ³ /s	Sarcina termică gaze eșapate, kW
PPP 2,1 18,9	342	16,4	0,46	120
PPP 2,1 25,2	450	21,5	0,61	158
PPP 2,1 31,5	558	26,7	0,75	196
PPP 2,1 37,8	684	32,7	0,92	240
PPP 2,1 44,1	792	37,9	1,07	278
PPP 2,1 50,4	900	43,1	1,21	316
PPP 2,1 56,7	1008	48,2	1,36	354
PPP 2,5 30,0	540	25,8	0,73	189
PPP 2,5 37,5	684	32,7	0,92	240
PPP 2,5 45,0	810	38,8	1,09	284
PPP 2,5 52,5	954	48,7	1,36	354
PPP 2,5 60,0	1080	51,7	1,45	379
PPP 3,0 63,0	1134	54,3	1,53	398
PPP 3,0 72,0	1296	62,0	1,75	455
PPP 3,0 81,0	1458	69,8	1,96	511
PPP 3,0 99,0	1782	85,3	2,40	625
PPP 3,0 108	1944	93,0	2,62	682

3.2. Evaluarea eficienței energetice a procesului clasic de obținere a gazelor în cuptor

3.2.1. Randamentul energetic al procesului de obținere a gazelor în cuptorul clasic

Pentru a evalua eficiența energetică a procesului de producere a gazelor în cuptorul clasic, este necesar de determinat randamentul energetic al acestuia, respectând metodologia expusă în paragraful 2.2.

Se vor calcula succesiv valorile tuturor fluxurilor de energii introduse și evacuate din conturul delimitat în figura 2.6, prin intermediul relațiilor (2.4) – (2.7). Calculul componentelor bilanțului energetic pentru sistemul CA + CAM este prezentat în Anexa 5.

Bilanțul energetic se întocmește la sarcina nominală a arzătorului 455 kW (Anexa 3), în conformitate cu relația (2.3):

$$Q^{g.n} + Q^{aer} + E^{e.e.} + Q^{g.r.} = Q^{g.ev.} + \sum_{i=1}^n P_i, \text{ kW.}$$

Relația de calcul a fluxului de căldură pierdut prin arderea chimic incompletă și în mediul ambiant prin pereții exteriori ai camerei de ardere și cei ai camerei de amestec poate fi dedusă din ecuația bilanțului energetic:

$$\sum_{i=1}^n P_i = Q^{g.n} + Q^{aer} + E^{e.e.} + Q^{g.r.} - Q^{g.ev.} = 463 + 4,7 + 9 + 345 - 677 = 144,7 \text{ kW.}$$

Astfel, randamentul energetic al procesului de producere a gazelor de ardere în cuptorul analizat, conform relației (2.9), va fi:

$$\eta_{en} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n P_i}{Q^{g.n} + Q^{aer} + E^{e.e.} + Q^{g.r.}} = 1 - \frac{144,7}{463 + 4,7 + 9 + 345} = 0,82.$$

Valorile componentelor bilanțului energetic al sistemului de producere a gazelor, determinate în anexa 5, sunt prezentate în tabelul 3.8.

Tabelul 3.8. Bilanțul energetic al sistemului de producere a gazelor

Fluxuri de energii introduse în conturul de bilanț			Fluxuri de energii evacuate din conturul de bilanț		
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 %					

Pentru o mai bună înțelegere a modului de consum a energiei în conturul analizat este prezentată diagrama Sankey (Fig. 3.6).

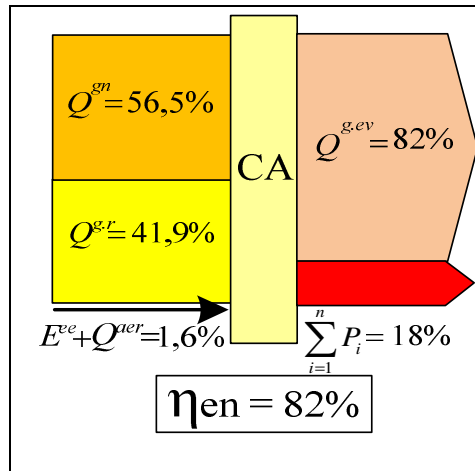


Fig. 3.6. Diagrama Sankey pentru procesele de obținere a gazelor în sistemul de producere a gazelor în cuptorul clasic

Din analiza datelor prezentate în tabelul 3.8 și în diagrama Sankey se pot desprinde următoarele concluzii:

- În suma fluxurilor de energii introduse în sistemul de producere a gazelor al cuptorului clasic ponderea majoritară o dețin fluxurile de căldură introduse cu combustibilul $Q^{g.n}$ și cu gazele recirculate în camera de amestec $Q^{g.r}$.
- Ponderile căldurii aerului introdus pentru ardere Q^{aer} și energiei electrice necesare pentru antrenarea ventilatoarelor de aer și pentru și celor pentru recircularea gazelor sunt ne semnificative.
- Pierderile energetice în procesul considerat sunt mari – 18%, de aceea trebuie de întreprins măsuri de diminuare a acestora. Dar la etapa actuală, în care se operează doar cu analiza energetică, este dificil de spus care sunt cauzele majore care provoacă aceste pierderi și cum pot fi acestea diminuate. Pentru a soluționa această problemă este necesar ca analiza energetică să fie completată cu analiza exergetică.

3.2.2. Determinarea gradului de perfecțiune termodinamică a procesului analizat

Eficiența exergetică a procesului de producere a gazelor se va exprima prin valoarea coeficientului de performanță termodinamică. Pentru a determina valoarea acestuia se vor face calculele conform metodologiei expuse în paragraful 2.3.1, calculând succesiv valorile tuturor componentelor exergetice din cadrul bilanțului exergetic dat de relația (2.14):

$$E_x^{g.n} + E_x^{aer} + E_x^{e.e} + E_x^{g.r} = E_x^{g.ev} + \sum_{x=1}^n P_{xi}, \quad kW.$$

Se vor calcula succesiv valorile tuturor fluxurilor de exergie introduse și evacuate din conturul delimitat în figura 2.8, prin intermediul relațiilor (2.16) – (2.21). Calculul componentelor bilanțului exergetic pentru sistemul CA + CAM este prezentat în Anexa 5.

Pierderile totale de exergie în procesul de obținere a gazelor în cuptor, conform relației (2.22), vor constitui:

$$\sum_{i=1}^n P_{xi} = E_x^{g.n.} + E_x^{aer} + E_x^{e.e} + E_x^{g.r} - E_x^{g.ev} = 497 + 0 + 9 + 135 - 349,8 = 291,2 \text{ kW}.$$

Gradul de ireversibilitate a procesului de obținere a gazelor în cuptorul PPP va primi valoarea:

$$\sum_{i=1}^n P_{xi} / \sum_{i=1}^n E_{xi}^{in} = 291,2 / 641 = 0,454$$

iar gradul de perfecțiune termodinamică al procesului analizat, conform relației (2.23), va fi:

$$\gamma_{ex}^{thm} = \sum_{i=1}^n E_{xi}^{ies} / \sum_{i=1}^n E_{xi}^{in} = E_x^{g.ev} / (E_x^{g.n.} + E_x^{e.e} + E_x^{g.r}) = 349,8 / (497 + 9 + 135) = 0,546.$$

Pentru o mai bună înțelegere a modului de consum a exergiei în conturul analizat s-a prezentat tabelul 3.9.

Tabelul 3.9. Bilanțul exergetic al sistemului de producere a gazelor

Fluxurile de exergie introduse în conturul de bilanț			Fluxurile de exergie evacuate din conturul de bilanț		
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 $641 - 349,8 = 291,2 \text{ kW}$					
Gradul de perfecțiune termodinamică 54,6 %					

Din analiza datelor prezentate în tabelul 3.9 se pot deduce următoarele generalizări:

- În suma fluxurilor de exergie introduse în sistemul de producere a gazelor al cuptorului clasic ponderea majoritară o dețin fluxurile de exergie introduse cu combustibilul $E_x^{g.n.}$ și cu gazele recirculate în camera de amestec $E_x^{g.r}$.
- Deoarece aerul introdus pentru ardere nu este preventiv încălzit rezultă că exergia acestuia este nulă - $E_x^{aer} = 0$.
- Ponderea exergiei energiei electrice consumate pentru antrenarea ventilatoarelor pentru aer și pentru gaze recirculate este nesemnificativă.

- Gradul de perfecțiune termodinamică a procesului de obținere a gazelor în cuptorul clasic de panificație $\gamma_{ex}^{thm} = 54,6\%$, are o valoare considerabil mai mică decât randamentul energetic al acestuia - $\eta_{en} = 82\%$. Această diferență se explică prin faptul că randamentul energetic nu ține cont de acea parte a energiei care este transformată în anergie din cauza ireversibilității interne și externe a proceselor.
- Este necesar să se identifice cauzele ireversibilității interne și externe a procesului analizat, să fie cuantificate valorile pierderilor exergetice produse de fiecare cauză în parte și să se propună măsuri de diminuare a acestor pierderi.

3.2.3. Structura pierderilor exergetice ale procesului de obținere a gazelor

Așa cum a fost menționat în capitolul anterior, pierderile de exergie asociate procesului de obținere a gazelor de ardere în cuptorul clasic, se datorează în special arderii combustibilului în camera de ardere P_x^{ard} , amestecului de gaze în camera de amestec P_x^{am} , laminării gazelor la intrare în focar și la ieșire din camera de amestec P_x^{lam} și transferului de căldură în mediul ambiant P_x^{ma} .

Calculul acestor pierderi de exergie a fost efectuat prin aplicarea metodologiei expuse în paragraful 2.3.3 și prezentat în Anexa 5.

Pentru o mai bună înțelegere a ponderii fiecărui proces ireversibil în pierderile totale de exergie ale conturului analizat s-au prezentat tabelul 3.10 și diagrama Grassman (fig. 3.7).

Tabelul 3.10. Structura pierderilor de exergie asociate procesului de obținere a gazelor în cuptor

Cauza ireversibilității	Notăție	Valori	
		Absolute, kW	Relative, %
Arderea combustibilului	P_x^{ard}	206	32,1
Amestecarea gazelor	P_x^{am}	74,3	11,6
Schimb de căldură cu mediul ambiant	P_x^{ma}	8,9	1,4
Laminarea gazelor	P_x^{lam}	1,98	0,3
	$\sum_{i=1}^n P_{xi}$	291,2	45,4

Din analiza datelor prezentate în tabelul 3.10 și în diagrama Grassman se pot desprinde următoarele concluzii:

- Cele mai mari pierderi de exergie în procesul de obținere a gazelor se datorează ireversibilității arderii combustibilului – 32,1%, urmate de ireversibilitatea cauzată de amestecarea gazelor de ardere fierbinți din camera de ardere cu gaze recirculate din traseul

gazelor evacuate - 11,6%. Totodată, se remarcă faptul că pierderile de exergie datorate procesului de laminare a agentului de lucru și cele cauzate de pierderile de căldură prin pereții exteriori ai camerei de ardere și a celei de amestecare sunt modeste – 1,8%.

- Integrarea instalației de cogenerare în instalația de panificație se face cu scopul de a micșora gradul de ireversibilitate al procesului analizat prin reducerea pierderilor de exergie cauzate în special de procesele de ardere a combustibilului și prin excluderea procesului de amestecare.

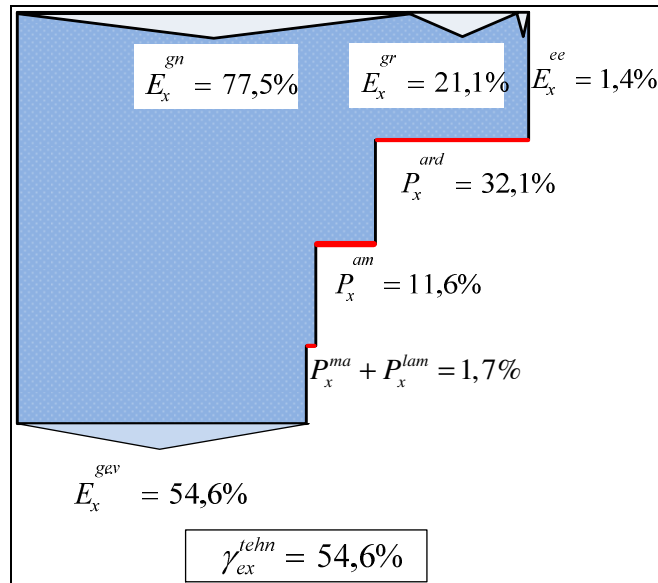


Fig. 3.7. Diagrama Grassman pentru procesul de obținere a gazelor în focarul cuptorului PPP

3.3. Evaluarea eficienței energetice a procesului modernizat de obținere a gazelor

3.3.1. Randamentul energetic al procesului cu gaze în cuptorul cu cogenerare integrată

Eficiența energetică a procesului de producere a gazelor de ardere se va evalua în conformitate cu metodologia expusă în paragraful 2.2, respectând limitele conturului delimitat în figura 2.7, prin intermediu relațiilor (2.4) – (2.12).

Calculul componentelor bilanțului energetic pentru camera de ardere a motorului cu ardere internă este prezentat în Anexa 6. Bilanțul energetic va fi întocmit la sarcina nominală a motorului cu ardere internă 380 kW, în conformitate cu relația (2.10):

$$Q^{g.n} + Q^{aer} + Q_{apa}^{in} = Q^{g.ev} + L + Q_{apa}^{ev} + \sum_{i=1}^n P_i, \text{ kW}$$

Relația de calcul a fluxului de căldură pierdut (prin arderea chimic incompletă, în mediul ambiant prin pereții exteriori ai camerei de ardere a MAI ș.a) rezultă din ecuația bilanțului energetic:

$$\sum_{i=1}^n P_i = Q^{g.n} + Q^{aer} + Q_{apa}^{in} - L - Q_{apa}^{ev} - Q^{g.ev} = 1157 + 16 + 405 - 378 - 727 - 356 = 117 \text{ kW}.$$

Pentru această tehnologie randamentul energetic al procesului de producere a gazelor de ardere va constitui:

$$\eta_{en} = \frac{Q^{g.ev} + L + Q_{apa}^{ev}}{Q^{g.n} + Q^{aer} + Q_{apa}^{in}} = \frac{356 + 378 + 727}{1157 + 16 + 405} = 0,926.$$

Pentru o mai bună înțelegere a modului de consum a energiei în conturul analizat s-au prezentat tabelul 3.11 și diagrama Sankey (Fig. 3.8).

Tabelul 3.11. Bilanțul energetic al camerei de ardere a MAI

Fluxuri de energii introduse în conturul de bilanț			Fluxuri de energii evacuate din conturul de bilanț		
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 tabelul 3.11 și în diagrama Sankey se pot desprinde următoarele concluzii:

- În suma fluxurilor de energii introduse în sistemul de producere a gazelor al motorului cu ardere internă, ponderea majoritară o dețin fluxurile de căldură introduse cu combustibilul $Q^{g.n}$ și cu apa de răcire a acestuia Q_{apa}^{in} .
- Ponderea căldurii aerului introdus pentru ardere Q^{aer} este nesemnificativă.
- Pierderile energetice în procesul de obținere a gazelor în MAI constituie – 7,4 %, care sunt de cca 2,5 ori mai mici decât pierderile de energie din același proces din sistemul de producere a gazelor în cuptorul clasic, ceea ce denotă faptul că eficiența energetică a procesului analizat sporește în cazul aplicării tehnologiei CogIntegr.
- 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.
- Pentru a avea o viziune mai clară despre eficiența procesului analizat în cadrul tehnologiei CogIntegr cu MAI este necesar ca analiza energetică să fie completată cu analiza exergetică, care va fi prezentată în cele ce urmează.

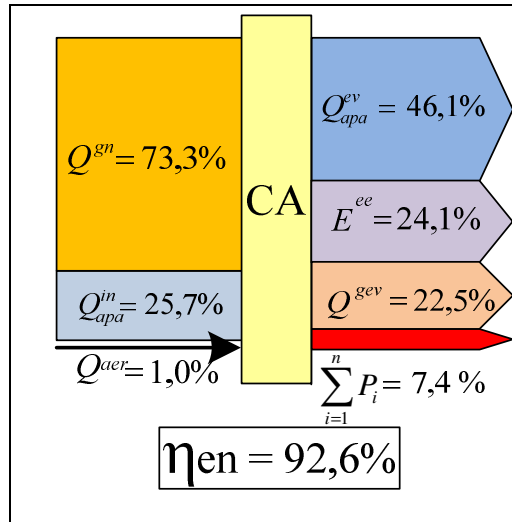


Fig. 3.8. Diagrama Sankey pentru procesul de obținere a gazelor în MAI

3.3.2. Calculul gradului de perfecțiune termodinamică a procesului cu gaze

Analiza exergetică a procesului de producere a gazelor în MAI se va face în conformitate cu metodologia expusă în paragraful 2.3.2.

Vor fi calculate succesiv valorile tuturor componentelor din cadrul bilanțului exergetic dat de relația (2.24):

$$E_x^{g.n} + E_x^{aer} + E_x^{apa.in} = E_x^l + E_x^{g.ev} + E_x^{apa.ev} + \sum_{i=1}^n P_{xi}, \text{ kW.}$$

Calculul componentelor bilanțului exergetic pentru camera de ardere a MAI este prezentat în Anexa 6.

Pierderile totale de exergie în procesul cu gaze analizat, pentru tehnologia CogIntegr, vor constitui:

$$\sum_{i=1}^n P_{xi} = E_x^{g.n} + E_x^{aer} + E_x^{apa.in} - E_x^l - E_x^{g.ev} - E_x^{apa.ev} = 1248,7 + 0 + 4,9 - 378 - 450 - 34,9 = 390,7 \text{ kW.}$$

Gradul de ireversibilitate a procesului de obținere a gazelor în MAI va primi valoarea:

$$\sum_{i=1}^n P_{xi} / \sum_{i=1}^n E_{xi}^i = 390,7 / 1253,6 = 0,311$$

iar gradul perfecțiunii termodinamice a procesului analizat, conform relației (2.23):

$$\gamma_{ex}^{ehm} = \frac{E_x^{g.ev} + E_x^l + E_x^{apa.ev}}{E_x^{g.n} + E_x^{apa.in}} = \frac{450 + 378 + 34,9}{1248,7 + 4,9} = 0,689.$$

Pentru o mai bună înțelegere a modului de consum a exergiei în cadrul conturului de analiză s-a prezentat tabelul 3.12.

Tabelul 3.12. Bilanțul exergetic al sistemului de producere a gazelor

Fluxurile de exergii introduse în conturul de bilanț			Fluxurile de exergii evacuate din conturul de bilanț		
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
			$E_x^{apa.ev}$	34,9	2,7
$\sum_{i=1}^n E_{xi}^{in}$	1253,6	100	$\sum_{i=1}^n E_{xi}^{ev}$	862,9	68,9
Pierderile de exergie 1253,6 – 862,9 = 390,7 kW					
Gradul de perfecțiune termodinamică 68,9 %					

Din analiza datelor prezentate în tabelul 3.12 se pot deduce următoarele concluzii:

- Exergia introdusă în motorul cu ardere internă practic este constituită doar din exergia combustibilului $E_x^{g.n}$, exergia apei introduse pentru răcirea motorului $E_x^{apa.in}$ fiind incomparabil de mică cu cea a gazelor naturale arse în motor.
- Exergia evacuată din sistemul considerat, este constituită în mare parte din exergia gazelor de eșapament $E_x^{g.ev}$ și exergia lucrului mecanic produs de motor E_x^l exergia apei evacuate din motor este nesemnificativă.
- Gradul de perfecțiune termodinamică a procesului de obținere a gazelor $\gamma_{ex}^{ehn} = 68,9\%$, are o valoare considerabil mai mică decât randamentul energetic al acestuia - $\eta_{en} = 92,6\%$. Această diferență se explică prin faptul că randamentul energetic nu ține cont de acea parte a energiei care este transformată în anergie din cauza ireversibilității interne și externe ale proceselor.
- Astfel, integrarea instalației de cogenerare în instalația de panificație duce la micșorarea gradului de ireversibilitate termodinamică al 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.

3.3.3. Structura pierderilor exergetice ale procesului de obținere a gazelor

Pierderile de exergie asociate procesului de obținere a gazelor de ardere în MAI, se datorează în special arderii combustibilului în camera de ardere P_x^{ard} , evacuării gazelor de ardere din camera de ardere P_x^{ev} , laminării gazelor la intrare și la ieșire din camera de ardere P_x^{lam} , transferului de căldură în mediul ambiant prin pereții exteriori ai motorului P_x^{ma} și cu apa de răcire $P_x^{t.c.apa}$.

Calculul acestor pierderi de exergie a fost efectuat prin aplicarea metodologiei expuse în paragraful 2.3.4 și este prezentat în Anexa 6.

Pentru o mai bună înțelegere a ponderii fiecărui proces ireversibil în pierderile totale de exergie ale conturului analizat s-au prezentat tabelul 3.13 și diagrama Grassman (fig. 3.9).

Tabelul 3.13. Structura pierderilor de exergie asociate procesului de obținere a gazelor în MAI

Cauza ireversibilității	Notăție	Valori	
		Absolute, kW	Relative, %
Arderea combustibilului	P_x^{ard}	272,7	21,8
Schimb de căldură cu apa de răcire	$P_x^{t.c.apa}$	73,9	5,9
Evacuarea agentului de lucru	P_x^{ev}	24,4	1,9
Laminarea gazelor	P_x^{lam}	18,5	1,4
Schimb de căldură cu mediul ambiant	P_x^{ma}	1,22	0,1
	$\sum_{i=1}^n P_{xi}$	390,7	100

Din analiza datelor prezentate în tabelul 3.13 și în diagrama Grasman se pot desprinde următoarele concluzii:

- Cele mai mari pierderi de exergie în procesul de obținere a gazelor, ca și în cazul cuptorului clasic, se datorează ireversibilității arderii combustibilului – 21,8 %, dar acestea sunt considerabil mai mici în comparație cu cazul cuptorului clasic - 32,1%.
- În cazul instalației de cuptoare de tip CogIntegr lipsesc pierderile de exergie asociate procesului de amestecare, prezente în instalația clasică, dar apare o nouă componentă a pierderilor de exergie - cele cauzate de ireversibilitatea transferului de căldură între agentul de lucru al MAI și apa de răcire. Chiar și așa, oricum pierderile de exergie cauzate de ireversibilitatea procesului de transfer de căldură sunt mai mici – 5,9% decât cele cauzate de ireversibilitatea procesului de amestecare -11,6%.
- Deci, integrarea unei instalații de cogenerare în bază de MAI în cadrul unei instalații de panificație aduce beneficii termodinamice și energetice procesului de producere a agentului termic necesar pentru coacerea pâinii. Ca urmare, sporirea eficienței energetice și exergetice a procesului de obținere a gazelor de ardere, ar trebui să ducă și la sporirea eficienței energetice a instalației de panificație în întregime, ceea ce va fi demonstrat în continuare.

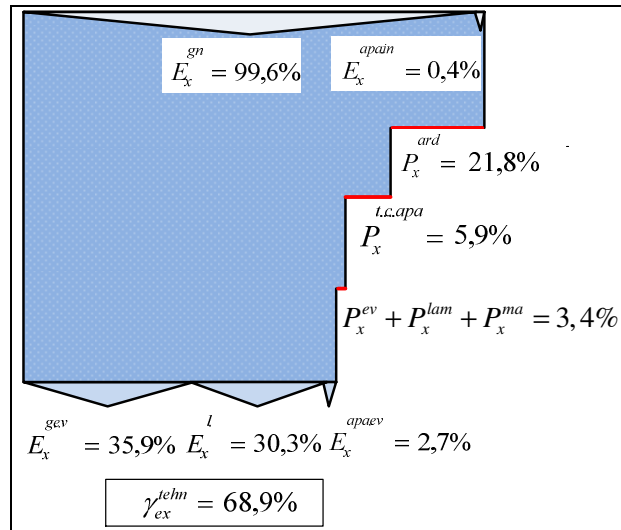


Fig. 3.9. Diagrama Grassman pentru procesele de obținere a gazelor în MAI

3.4. Eficiența energetică a instalației clasice și a celei modernizate de panificație

3.4.1. Calculul randamentului termic al cuptorului clasic

Bilanțul termic al cuptorului de copt pâine se compune din bilanțul camerei de ardere (prezentat în paragraful 3.2.1), al sistemului de transmitere a căldurii din camera de ardere în camera de coacere și al camerei de coacere propriu zisă.

Pentru evaluarea eficienței energetice a cuptorului PPP 3 54.211 ST, se va respecta metodologia de calcul expusă în subcapitolul 2.4, utilizând datele experimentale prezentate în tabelul 3.1.

Ecuția bilanțului termic pentru cuptorul analizat are următoarea formă:

$$Q^{g.n} = Q_1 + \sum Q_p^{ca} + \sum Q_p^{cc} + Q_p^{cg} + Q_p^{g.ev}, kW$$

Fluxul de căldură rezultat la arderea gazelor naturale în camera de ardere a cuptorului a fost calculat în Anexa 5 și este egal cu $Q^{g.n} = 463 kW$.

Căldura efectiv consumată pentru coacerea pâinii Q_1 va primi valoarea:

$$Q_1 = (G/3600) \left[g_m \cdot c_p^m \cdot (t_m - t_{al}) + g_c \cdot c_p^c \cdot (t_c - t_{al}) + w_{ew} (h_{sup} - h) \right] = \\ = (972/3600) \left[0,51 \cdot 2,975(98 - 25) + 0,49 \cdot 1,68(140 - 25) + 0,177(2706,6 - 104,7) \right] = 180 kW$$

Cantitatea de apă evaporată din aluat în timpul coacerii:

$$w_{ev} = (g_a - g_p) / g_p = (0,53 - 0,45) / 0,45 = 0,177 kg_{ap\ddot{a}} / kg_{p.c.}$$

Entalpia aburului supraîncălzit $h_{sup} = 2706,6 kJ/kg$, a fost preluată din tabele termodinamice, în funcție de temperatura în prima zonă a camerei de coacere:

$$t'_{cc} = (t_{zonal} + t_{aer}) / 2 = (217 + 24) / 2 = 120,5 ^\circ C$$

și presiunea atmosferică $p_{ma} = 98642 Pa$, iar entalpia apei din aluat va primi valoarea:

$$h = c_p^{ap\ddot{a}} \cdot t_{al} = 4,19 \cdot 25 = 104,7 kJ / kg.$$

Deci, fluxul de căldură consumat pentru coacerea pâinii constituie 180 kW sau:

$$q_1 = (3600 \cdot Q_1) / G = (3600 \cdot 180) / 972 = 666,6 \text{ kJ} / \text{kg}_{p.c.} \quad (3.8)$$

Conform [14], consumul specific de căldură pentru coacerea unui kg de pâine poate constitui $q_1 = 400 - 700 \text{ kJ/kg}$, în funcție de pierderile la coacere. Deci valoarea acestei mărimi, calculată cu relația (3.8) se încadrează în limita valorilor de referință.

Deoarece randamentul energetic al camerei de ardere a cuptorului a fost calculat în paragraful 3.2.1 și valoarea acestuia constituie 82 %, rezultă că pierderile de căldură ale camerei de ardere vor constitui:

$$\sum Q_p^{ca} = Q^{g.n} (1 - \eta_{en}^{ca}) = 463(1 - 0,82) = 83,3 \text{ kW}.$$

În anexa 7 este prezentat calculul componentelor $Q_2 - Q_5$ ale bilanțului termic al camerei de coacere a instalației de panificație.

Astfel, fluxul de căldură primit de camera de coacere de la canalele de gaze va constitui:

$$Q_{cc} = Q_u + \sum Q_p^{cc} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 = 180 + 16,7 + 27,8 + 10,4 + 25,6 = 260,5 \text{ kW}.$$

în care pierderile de căldură ale camerei de coacere vor fi egale cu:

$$\sum Q_p^{cc} = Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 = 16,7 + 27,8 + 10,4 + 25,6 = 80,5 \text{ kW}.$$

După cum se poate observa, cantitatea de căldură pierdută pentru încălzirea aerului de ventilație constituie $Q_3 = 27,8 \text{ kW}$ sau 10,7 % din Q_{cc} ceea ce corespunde valorii de referință de cca 10 %, iar pierderile de căldură prin pereții exteriori ai camerei de coacere constituie 25,6 kW sau 9,8 % din Q^{cc} , ceea ce practic corespunde valorii de referință de cca 10 - 15 %.

Se admite randamentul canalelor de gaze $\eta_{cg} = 0,9$. Astfel, pierderile de căldură prin canalele de gaze vor constitui:

$$Q_p^{cg} = Q_{cc} (1 / \eta_{cg} - 1) = 260,7(1 / 0,9 - 1) = 28,9 \text{ kW}.$$

Pierderile de căldură cu entalpia gazelor evacuate la coș vor primi valoarea:

$$Q_p^{g.ev} = B(h_g^{268} - \alpha_{ev} \cdot V_{aer}^0 \cdot c_p^a \cdot t_{aer}) = 0,014(5146 - 1,3 \cdot 9,76 \cdot 1,31 \cdot 24) = 66,5 \text{ kW}.$$

Randamentul termic al instalației de cuptoare, în conformitate cu relația (2.41), va fi:

$$\boxed{\eta_t = \frac{Q_u}{Q^{g.n}} = \frac{Q_1}{Q^{g.n}} = \frac{180}{463} = 0,389.}$$

Pentru o mai bună înțelegere a modului de consum al fluxului termic introdus cu combustibilul în cuptorul PPP s-au prezentat tabelul 3.14 și diagrama Sankey (fig. 3.10).

Tabelul 3.14. Bilanțul termic al cuptorului clasic

Fluxurile de căldură introduse în conturul de bilanț			Fluxurile de căldură evacuate din conturul de bilanț		
Notăție	Valori		Notăție	Valori	
	Absolute, kW	Relative, %		Absolute, kW	Relative, %
$Q^{g.n}$	463	100	Q_1	180	38,9
			$\sum Q_p^{ca}$	83,8	18,1
			Q_p^{cg}	29,9	6,5
			$\sum Q_p^{cc}$	80,5	17,4
			$Q_p^{g.ev}$	66,5	14,4
$\sum_{i=1}^n Q_i^{in}$	463	100	$\sum_{i=1}^n Q_i^{ev}$	440,7	95,3
Necorelarea de bilanț 4,7 %					
Randamentul termic al instalației 38,9 %					

În diagrama din figura 3.10, necorelările de bilanț au fost încadrate în pierderile de căldură ale camerei de coacere $\sum Q_p^{cc}$ (prin fundația cuptorului, prin orificiile deschise ș.a).

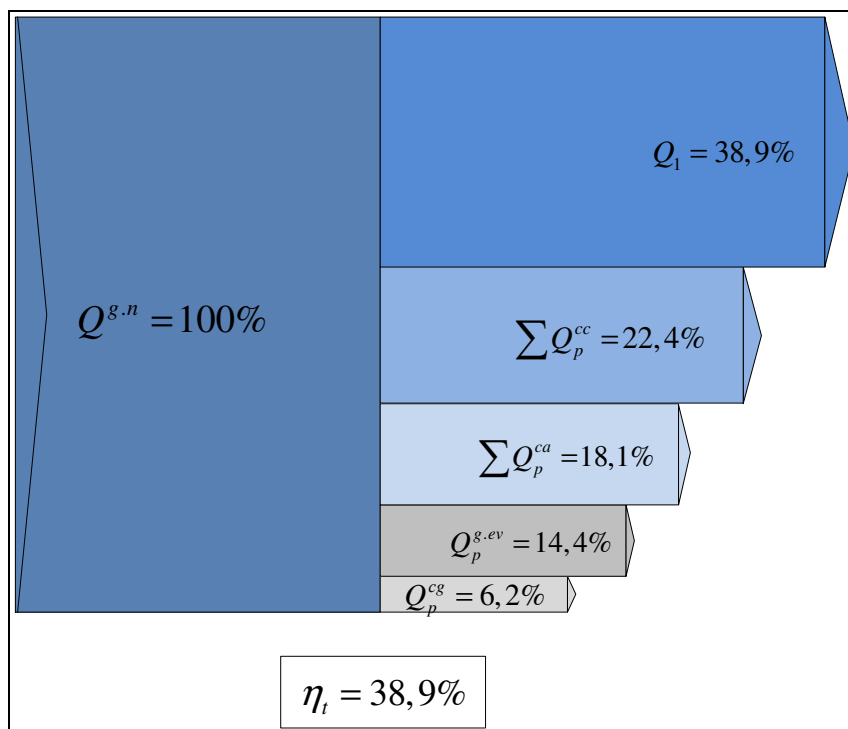


Fig. 3.10. Diagrama Sankey pentru cuptorul clasic de panificație

Din analiza rezultatelor obținute și a distribuției fluxurilor termice prezentate în diagrama Sankey se observă că valoarea randamentului termic al instalației de cuptoare PPP este destul de modestă. De aceea, este absolut necesar de identificat soluții care ar duce la majorarea valorii randamentului termic al instalației de panificație.

3.4.2. Oportunități de sporire a randamentului termic al cuptorului clasic

O măsură de sporire a valorii randamentului termic al instalației de panificație ar fi recuperarea căldurii resurselor energetice secundare (RES) rezultate în urma efectuării procesului tehnologic de coacere a pâinii în instalația considerată.

În cazul cuptorului analizat, în calitate de RES pot servi gazele de ardere evacuate la coș a căror temperatură constituie 268 °C.

O parte considerabilă din căldură gazelor evacuate la coș poate fi utilizată pentru:

- prepararea apei calde necesară pentru efectuarea proceselor tehnologice din brutărie, prin intermediul unui schimbător de căldură gaze-apă;
- prepararea apei calde necesară pentru producerea frigului prin intermediul unei instalații frigorifice cu absorbție;
- prepararea aerului fierbinte pentru uscarea anumitor semifabricate de tipul pesmeți, macaroane ș.a, prin intermediul unui schimbător de căldură gaze-aer,
- preîncălzirea aerului necesar arderii combustibilului în camera de ardere a cuptorului, prin intermediul unui schimbător de căldură gaze-aer.

Gazele de ardere pot fi răcite până la temperatura de cca 80 °C. Astfel, fluxul termic recuperat din căldura gazelor evacuate, poate constitui:

$$Q_r^{g.ev} = \dot{V}_t \cdot c_p^g \cdot (t_{ev} - t_{g,r}) = 0,17 \cdot 1,69(268 - 80) = 54 \text{ kW}. \quad (3.9)$$

Astfel, valoarea pierderilor de căldură cu entalpia gazelor evacuate la coș se vor reduce de la 14,4% la 2,7%.

O altă modalitate de sporire al randamentului procesului de panificație în cuptorul PPP constituie recuperare căldurii pâinii fierbinți cu ajutorul unui răcitor cu vid, pentru utilizarea ulterioară a căldurii captate pentru efectuarea altor procese tehnologice din cadrul fabricii.

Conform unor studii [20], cu ajutorul răcitoarelor cu vid se poate capta 2,5-3,5% din căldura combustibilului consumat pentru efectuarea operațiunii de coacere a pâinii. Dacă se acceptă că în cazul utilizării răcitorului cu vid se vor capta 3 % din căldura introdusă cu combustibilul, atunci fluxul de căldură recuperat prin intermediul răcitorului va constitui $Q_{r,p} = 14 \text{ kW}$.

Ca rezultat al implementării soluțiilor propuse de îmbunătățire a randamentului termic, valoarea acestuia va spori cu 14,7% și va constitui:

$$\eta_t = \frac{Q_u}{Q^{g.n}} = \frac{Q_1 + Q_r^{g.ev} + Q_{r,p}}{Q^{g.n}} = \frac{180 + 54 + 14}{463} = 0,536.$$

3.4.3. Evaluarea eficienței energetice a instalației de panificație de tip CogIntegr cu MAI

Bilanțul termic al instalației de cuptoare de tip CogIntegr cu MAI se compune din bilanțul energetic al camerei de ardere a MAI (vezi în paragr. 3.3.1), al sistemului de transmitere a căldurii din camera de ardere a motorului în camera de coacere și al camerei de coacere propriu zisă.

Evaluarea eficienței energetice a instalației se va efectua cu respectarea metodologiei de calcul expusă în subcapitolul 2.4, utilizând datele experimentale prezentate în tabelele 3.1 și 3.5. Totodată, trebuie ținut cont de faptul că, din motivul că la instalația modernizată camera de coacere nu a suferit careva schimbări față de tehnologia clasică de panificație, bilanțul termic al acesteia va rămâne același ca și pentru cuptorul PPP.

Ecuția bilanțului energetic pentru instalația analizată, conform relației (2.42), are următoarea formă:

$$Q^{g.n} = Q_1 + \sum Q_p^{ca} + Q_p^{cg} + \sum Q_p^{cc} + Q_p^{g.ev} + \Delta Q_{ar} + E_{ee}, kW$$

În cele ce urmează, vor fi prezentate calculele valorilor tuturor componentelor ecuației bilanțului energetic.

Fluxul de căldură rezultat din arderea gazelor naturale în camera de ardere a MAI a fost calculat în Anexa 6 și este egal cu $Q^{g.n} = 1157 kW$.

Din motivul că soluția tehnică propusă nu prevede careva modificări ale camerei de coacere a cuptorului, respectiv nu va fi afectat procesul tehnologic de coacere a pâinii și fluxul de căldură efectiv consumat pentru coacerea pâinii va avea aceeași valoare ca și în cazul tehnologiei clasice și va constitui: $Q_1 = 180 kW$.

Randamentul energetic al camerei de ardere a MAI a fost calculat în paragraful 3.3.1 și valoarea acestuia constituie 92,6 %. Astfel, pierderile de căldură ale camerei de ardere, conform relației (2.46), vor constitui:

$$\sum Q_p^{ca} = Q^{g.n} (1 - \eta_{en}^{ca}) = 1157(1 - 0,926) = 85,6 kW.$$

Își vor păstra valoarea următoarele fluxuri de căldură:

- pierdut din canalele de gaze: $Q_p^{cg} = 29,9 kW$;
- pierdut din camera de coacere: $\sum Q_p^{cc} = 80,5 kW$;
- pierdut cu entalpia gazelor evacuate la coș: $Q_p^{g.ev} = 66,5 kW$.

Cantitatea de căldură evacuată cu apa de răcire a motorului este prezentată în tabelul 3.4 și constituie $\Delta Q_{ar} = 323 kW$.

Astfel, randamentul termic al instalației de cuptoare de tip CogIntegr cu MAI, în conformitate cu relația (2.32), va fi:

$$\eta_t = \frac{Q_u}{Q^{g.n}} = \frac{Q_1 + \Delta Q_{ar}}{Q^{g.n}} = \frac{180 + 323}{1157} = 0,435.$$

În cazul în care se vor implementa soluțiile de recuperare a căldurii gazelor evacuate și a pâinii fierbinți, randamentul termic al instalației va primi valoarea:

$$\eta_t = \frac{Q_u}{Q^{g.n}} = \frac{Q_1 + \Delta Q_{ar} + Q_r^{g.ev} + Q_{r.p}}{Q^{g.n}} = \frac{180 + 323 + 54 + 14}{1157} = 0,494.$$

Pentru o mai bună evidență a modului de consum a fluxurilor energetice s-a prezentat tabelul 3.15 și diagrama Sankey (fig. 3.11). În diagrama din figura 3.11 necorelările de bilanț au fost încadrate în pierderile de căldură ale camerei de coacere $\sum Q_p^{cc}$.

Tabelul 3.15. Bilanțul energetic al instalației de cuptoare de tip CogIntegr

Fluxurile de căldură introduse în conturul de bilanț			Fluxurile de căldură evacuate din conturul de bilanț		
Notăție	Valori		Notăție	Valori	
	Absolute, kW	Relative, %		Absolute, kW	Relative, %
$Q^{g.n}$	1157	100	Q_1	180	15,6
			$\sum Q_p^{ca}$	85,6	7,4
			Q_p^{cg}	28,9	2,5
			$\sum Q_p^{cc}$	80,7	7,0
			$Q_p^{g.ev}$	66,5	5,7
			ΔQ_{ar}	323	27,9
			E_{ee}	380	32,7
$\sum_{i=1}^n Q_i^{in}$	1157	100	$\sum_{i=1}^n Q_i^{ev}$	1144,6	98,8
Necorelarea de bilanț 1,2 %					
Randamentul termic al instalației 43,5 %					
Randamentul global al instalației 76,3 %					

După cum se observă, randamentul termic al instalației de cuptoare CogIntegr cu MAI este mai mare cu 4,6 % decât cel al instalației clasice de panificație, dar, deoarece prima reprezintă o instalație de cogenerare, eficiența energetică a acesteia este relevant să se exprime prin randamentul global, calculat cu relația (2.44):

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

Trebuie de remarcat faptul că randamentul global al instalației va primi valoarea de 76,3 % în cazul în care, căldura gazelor la coș va fi evacuată în mediul ambiant și nu va fi recuperată căldura pâinii fierbinți scoase din cuptor.

În cazul când se vor implementa soluțiile de recuperare ale acestor fluxuri, randamentul global al instalației va constitui:

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

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

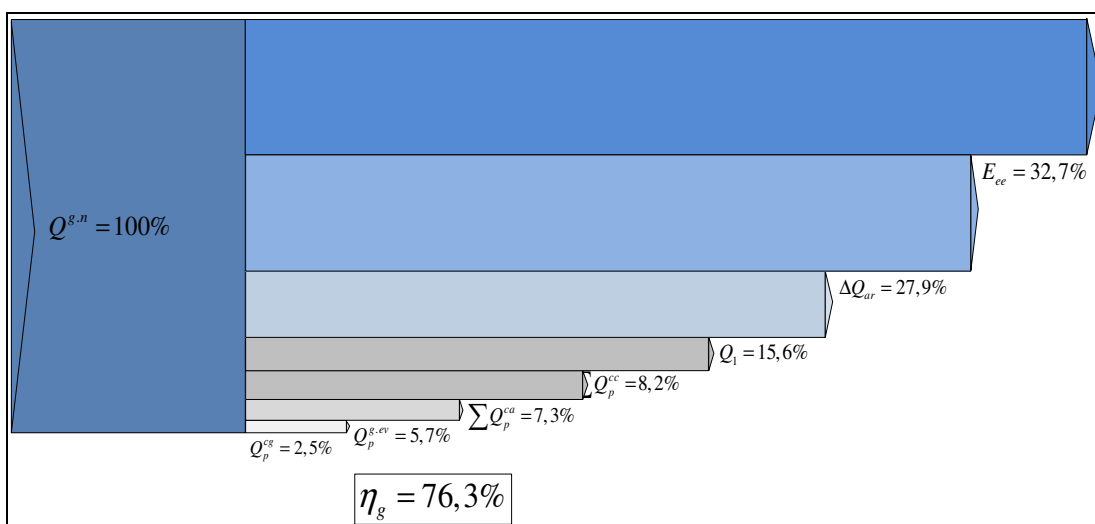


Fig. 3.11. Diagrama Sankey pentru instalația de cuptoare de tip CogIntegr cu MAI

Concluzii și constatări la capitolul 3

1. Pentru instalația de cogenerare care urmează a fi integrată cu cuptorul de panificație tipodimensiunea este determinată de sarcina termică, debitul și temperatura gazelor de ardere, necesare procesului tehnologic de coacere a pâinii. În lucrare este stabilit că pentru gama existentă de capacități ale cuptoarelor de panificație de tip tunel, sarcina termică a instalațiilor de cogenerare variază de la 120 kW până la 682 kW.
2. S-a demonstrat că integrarea cogenerării în procesul de panificație duce la sporirea *randamentului energetic* al procesului de obținere a agentului termic de la 82 % în cazul tehnologiei clasice până la 92,6% - în cazul tehnologiei CogIntegr cu MAI, iar *randamentul perfecțiunii termodinamice* crește de la 54,6% până la 68,9%.
3. Studiul efectuat a dovedit că *eficiența exergetică* a procesului de obținere a gazelor de ardere, necesare procesului de coacere a pâinii, este mai mică decât *eficiența energetică* (cu 27,4% - în cazul considerării instalației clasice și cu 23,7% - tehnologiei CogIntegr cu MAI), ceea ce se explică prin faptul că o parte din energie se transformă în anergie, datorită ireversibilității termodinamice a procesului.

4. Integrarea cogenerării în procesele de panificație reduce pierderile exergetice provocate de ireversibilitatea procesului de ardere a combustibilului cu 10,3%, iar pierderile de exergie, cauzate de ireversibilitatea procesului de amestecare a gazelor, sunt în totalitate excluse.
5. *Randamentul termic* al instalației clasice de panificație studiate în lucrare are o valoare modestă – 38,9%, iar în cazul aplicării soluțiilor propuse de recuperare a căldurii reziduale, se obține sporirea valorii randamentului termic al instalației până la 53,6%.
6. Este demonstrat că integrarea cogenerării în instalația de panificație majorează *randamentul global* al sistemului integrat până la 76,3%, iar prin aplicarea, în plus, a măsurilor de recuperare a căldurii reziduale, randamentul global crește până la 82,2%.
7. Aplicarea conceptului CogIntegr în instalațiile de panificație, conform celor prezentate mai sus, majorează considerabil eficiența energetică a proceselor și instalațiilor de coacere a pâinii, iar ca urmare conduce la importante beneficii economice (cap. 4).

4. FEZABILITATEA ECONOMICĂ A INTEGRĂRII TEHNOLOGIEI DE COGENERARE ÎN INSTALAȚIA DE PANIFICAȚIE

4.1. Cadrul metodologic de evaluare a eficienței economice a tehnologiei CogIntegr

4.1.1. Metodologia de evaluare a eficienței economice a tehnologiei propuse

Implementarea soluției de eficientizare energetică a instalației de panificație prin integrarea cogenerării presupune realizarea unui proiect de investiții. Proiectul de investiții reprezintă un ansamblu de acțiuni cu caracter investițional, care prevede alocarea organizată de resurse materiale, financiare, umane și informaționale în scopul maximizării beneficiilor așteptate [129]. În studiul efectuat în lucrare, investiția se face în scopul sporirii eficienței energetice a procesului de panificație.

Orice investiție este necesar să fie justificată atât din punct de vedere tehnologic cât și din punctul de vedere economic și ecologic. O investiție justificată din toate punctele de vedere enumerate se consideră fezabilă. Pentru a demonstra fezabilitatea economică a unei investiții este necesar să se efectueze o analiză „cost-beneficiu”, care presupune estimarea tuturor cheltuielilor necesare pentru implementarea proiectului investițional, pe de o parte, și beneficiile financiare ce vor rezulta în urma implementării acestuia, pe de altă parte. Un proiect se consideră fezabil atunci când efectele așteptate depășesc eforturile depuse pentru implementarea acestuia.

În literatura de specialitate [130-133] sunt prezentați și explicați un șir de indicatori care pot fi utilizați pentru evaluarea fezabilității economice a investițiilor precum: cheltuielile totale actualizate (CTA); venitul brut total actualizat (VTA); venitul net actualizat (VNA); rata internă de rentabilitate (RIR); durata de recuperare a investiției (DRa) ș.a.

Scopul final al integrării tehnologiei CogIntegr în instalația de panificație fiind reducerea cheltuielilor întreprinderii cu achiziția resurselor energetice necesare pentru funcționarea acesteia, în studii economice de tipul celui prezentat în lucrare, apare întrebarea: *ca rezultat al implementării soluției tehnice propuse, întreprinderea va realiza o economie de resurse financiare cu achiziția resurselor energetice? Dacă da, care va fi valoarea acesteia?*

Cea mai relevantă metodă prin care putem obține răspuns la această întrebare reprezintă metoda determinării CTA prin aplicarea *modelului static - echivalent al cheltuielilor*.

În studiile și proiectele energetice apare necesitatea calculării cheltuielilor, veniturilor și producției de energie pe o perioadă de timp. Tradițional, în acest scop se aplică modelele economice dinamice, care presupun însumarea valorilor anuale pentru perioada de timp considerată [134].

Modelele dinamice au un mare avantaj de a fi aplicabile pentru o largă varietate de situații și condiții, însă ele, de regulă, sunt complexe, laborioase și inconveniente în soluționarea unui șir de probleme științifico-practice, caracteristice surselor de energie [135].

În cazurile când evoluția în timp a unor parametri este luată în considerație prin aplicarea unor funcții exponențiale sau lineare (precum creșterea/descreșterea volumului producției, creșterea/descreșterea prețului la combustibil ș.a.) este rezonabil de utilizat modelele statice – echivalente [136].

Trebuie de remarcat faptul că modelul static echivalent este echivalent modelului dinamic și reprezintă o descriere sintetică a procesului economic, inclusiv a factorului timp, inflației și variației factorilor externi, fără divizarea acestuia pe intervale de timp, însă asigură același rezultat final ca și modelul dinamic.

Volumul redus de informații de intrare și expresiile de calcul simple și compacte reprezintă avantajele de bază ale modelului static echivalent în comparație cu modelul dinamic.

Înainte de a iniția un proces de evaluare economică a unui proiect investițional din domeniul eficienței energetice, este foarte important de stabilit limitele de frontieră pentru care se va efectua analiza economică. Limitele analizei economice (*conturul de analiză*) poate cuprinde un proces, un utilaj, o instalație, o subdiviziune a întreprinderii sau întreprinderea întreagă.

Limitele conturului de analiză economică trebuie să cuprindă doar acele componente care vor fi afectate din punct de vedere energetic în cazul implementării soluției de eficientizare energetică.

La general, conturul de analiză economică, se stabilește similar ca în cazul conturului de bilanț energetic. Limitele conturului se trasează cu linie întreruptă. În interiorul conturului se indică consumatorii de resurse energetice și instalațiile producătoare de energie. Prin săgeți se indică fluxurile de energii achiziționate din rețeaua publică și cea produsă în limitele conturului de analiză (fig. 4.2).

Proiectele de modernizare energetică a sistemelor ingineresti existente presupun implementarea unor măsuri cu scopul de a spori eficiența energetică a acestuia. Un proiect de așa gen presupune obținerea unor beneficii în viitor în urma realizării unui efort în prezent.

În cazul când există mai multe oportunități de sporire a eficienței energetice, se recurge la metoda determinării eficienței economice pentru fiecare oportunitate în parte, asigurându-se condiții identice de comparare. În acest caz, principalii indicatori de eficiență economico-financiară reprezintă *venitul net actualizat*, *durata de recuperare a investiției* și *rata internă de rentabilitate*.

Însă, în studiul efectuat în lucrare se cere să se evalueze fezabilitatea implementării unei singure soluții – cea a tehnologiei „CogIntegr”. Până la implementarea proiectului investițional, întreprinderea suportă anumite cheltuieli cu procurarea resurselor energetice necesare efectuării proceselor tehnologice și întreținerii clădirilor, după implementarea măsurii de eficientizare energetică, întreprinderea va suporta alte cheltuieli pentru procurarea energiei.

Proiectul se va considera fezabil, în cazul în care, în urma implementării acestuia (*scenariul de proiect*), cheltuielile cu procurarea energiei vor fi mai mici decât până la implementare (*scenariul de bază*), adică economia netă totală actualizată pe perioada de studiu trebuie să respecte condiția:

$$EcNA = CTA_{SB} - CTA_{SP} > 0 \quad (4.1)$$

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

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

Metodologia de calcul a CTA prin aplicarea modelului static echivalent, este prezentată în conformitate cu [129, 135, 136]. Modelele statice echivalente de calcul a cheltuielilor totale pe durata de studiu a proiectului T , au o structură simplă și compactă:

$$CTA = C_0 \cdot \bar{T}_{T,x}, \quad (4.2)$$

unde: C_0 reprezintă valoarea de referință a costurilor anuale, (raportată la anul 0);

$\bar{T}_{T,x}$ - o durată recalculată a perioadei de studiu de T ani calendaristici.

Valoarea de referință a costurilor anuale C_0 reprezintă o valoare asociată anului 0, ce precede primul an de funcționare a obiectivului. Această valoare poate fi ușor determinată:

- (i) în baza cunoașterii parametrilor anului 0. *Exemplu:* cunoscând consumul anual constant de combustibil $B_t = B_0 = const, \forall t = 1, \dots, T$, și valoarea tarifului la combustibil în anul 0 – T_0 , se poate calcula valoarea de referință a costului combustibilului:

$$C_{comb,0} = B_0 \cdot T_0; \quad (4.3)$$

- (ii) în baza cunoașterii unei valori C_t a fluxului de numerar dat la anul t , unde $t \in (1, \dots, T)$ trecând de la acesta la anul 0, cu relația:

$$C_0 = C_t \cdot (1+r)^{-t}, \quad (4.4)$$

în care r reprezintă rata anuală de creștere a lui C_t .

Durata recalculată a perioadei de studiu de T ani reflectă durata calendaristică a perioadei de studiu, factorul timp și dinamica creșterii parametrului considerat C_t , se determină cu formula:

$$\bar{T}_{T,x} = \left[1 - (1+x)^{-T} \right] / x, \quad (4.5)$$

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

$$x = (1 + i) / (1 + r) - 1, \quad (4.6)$$

unde: i reprezintă rata de actualizare;

r - rata creșterii anuale a cheltuielii respective.

Cheltuielile totale actualizate, asociate unei instalații de cogenerare (de tipul celei studiate în lucrare), pe durata ei de viață, pot fi determinate cu relația:

$$CTA_{IC} = CTA_I + CTA_{O\&M} + CTA_{comb} + CTA_{ulei}, \quad (4.7)$$

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.

Cheltuielile cu investiția reprezintă valoarea totală actualizată a investiției eșalonate pe perioada construcției obiectivului, cu durata d :

$$CTA_I = I \cdot \bar{T}_{d,i}, \quad (4.8)$$

unde: I reprezintă investiția în obiectiv;

$\bar{T}_{d,i}$ - durata recalculată a perioadei de execuție de d ani calendaristici, determinată cu relația:

$$\bar{T}_{d,i} = \left[(1+i)^d - 1 \right] / i.$$

Pentru instalația de cogenerare analizată în lucrare, durata d nu depășește 1 an și, respectiv:

$$CTA_I = I. \quad (4.9)$$

Cheltuielile de operare și mentenanță pot fi calculate cu expresia:

$$CTA_{O\&M} = C_{O\&M,0} \cdot \bar{T}_{T,x_1}, \quad (4.10)$$

unde: $C_{O\&M,0}$ reprezintă valoarea de referință a cheltuielilor anuale pentru operare și mentenanță, raportată la anul 0:

$$C_{O\&M,0} = k_{O\&M,0} \cdot I; \quad (4.11)$$

$k_{O\&M,0}$ - valoarea de referință a cotei cheltuielilor anuale pentru operare și mentenanță din valoarea investiției totale;

\bar{T}_{T,x_1} - durata recalculată a perioadei de studiu, calculată cu relația (4.5) la rata x_1 :

$$x_1 = (1 + i) / (1 + r_{O\&M}) - 1; \quad (4.12)$$

$r_{O\&M}$ - rata anuală de creștere a cheltuielilor de operare și mentenanță.

Cheltuielile cu combustibilul utilizat și/sau energia achiziționată/produsă pe perioada de studiu se compun din două componente:

$$CTA_{comb,en} = CTA_{comb} + CTA_{en}. \quad (4.13)$$

Cheltuielile totale cu combustibilul se pot determina în conformitate cu relația (4.2):

$$CTA_{comb} = C_{comb,0} \cdot \bar{T}_{T,x2}, \quad (4.14)$$

unde: $C_{comb,0}$ vezi relația (4.3);

$$\bar{T}_{T,x2} - \text{durata recalculată a perioadei de studiu, determinată de rata } x_2: \\ x_2 = (1+i) / \left[(1+r_{deg r}) \cdot (1+r_b) \cdot (1+r_{comb}) \right] - 1; \quad (4.15)$$

$r_{deg r}$ - rata anuală de diminuare a capacității de producție;

r_b - rata anuală de creștere a consumului specific de combustibil;

r_{comb} - rata anuală de creștere a tarifului la combustibil.

Cheltuielile totale cu energia achiziționată, pot fi calculate cu relația:

$$CTA_{en} = C_{en,0} \cdot \bar{T}_{T,x3}, \quad (4.16)$$

unde: $C_{en,0}$ reprezintă valoarea de referință a cheltuielilor anuale cu energia procurată, raportată la anul 0:

$$C_{en,0} = W_0 \cdot T_{E,0}; \quad (4.17)$$

$$\bar{T}_{T,x3} - \text{durata recalculată a perioadei de studiu, calculată în funcție de rata } x_3: \\ x_3 = (1+i) / (1+r_E) - 1; \quad (4.18)$$

r_E - rata anuală de creștere a tarifului la energie.

Pentru lubrifierea elementelor mobile ale motorului cu ardere internă se utilizează ulei.

Cheltuielile totale cu uleiul pot fi determinate cu relația:

$$CTA_{ulei} = C_{ulei,0} \cdot \bar{T}_{T,x4}, \quad (4.19)$$

unde: $C_{ulei,0}$ reprezintă valoarea de referință a cheltuielilor anuale cu uleiul de lubrifiere, raportată la anul 0:

$$C_{ulei,0} = V_{ulei,0} \cdot c_{ulei,0}; \quad (4.20)$$

$V_{ulei,0}$ - valoarea de referință a volumului de ulei;

$c_{ulei,0}$ - valoarea de referință a costului uleiului;

$$\bar{T}_{T,x4} - \text{durata recalculată a perioadei de studiu, calculată în funcție de rata } x_4: \\ x_4 = (1+i) / \left[(1+r_{deg r}) \cdot (1+r_v) \cdot (1+r_{ulei}) \right] - 1; \quad (4.21)$$

r_v - rata anuală de creștere a consumului specific de ulei;

r_{ulei} - rata anuală de creștere a prețului la ulei.

4.1.2. Metodologia de calcul al costului nivelat al energiei produse

Un alt indicator important în aprecierea fezabilității economice a unui proiect de investiții din domeniul producerii energiei reprezintă *Costul nivelat al energiei produse (CNAE)*. Acest indicator pe larg este utilizat la evaluarea eficienței economice a tehnologiilor de producere a energiei la etapa de planificare/proiectare.

La general, $CNAE$ poate fi determinat prin raportarea cheltuielilor totale actualizate pe durata de viață a obiectivului CTA la volumul energiei produse pe perioada considerată ETA :

$$CNAE = CTA / ETA. \quad (4.22)$$

Pentru o instalație de cogenerare de tipul celei studiate în lucrare, în care se produce simultan energie electrică și termică, cheltuielile totale actualizate pe perioada de studiu includ două componente:

$$CTA_{IC} = CTA_{W,IC} + CTA_{Q,IC}, \quad (4.23)$$

unde: $CTA_{W,IC}$ reprezintă cheltuielile totale pentru producerea de energie electrică;

$CTA_{Q,IC}$ - cheltuielile totale pentru energia termică produsă.

Valoarea nivelată a costului pentru energia electrică produsă la instalația de cogenerare pe perioada T ani, poate fi determinată cu următoarea relație:

$$CNAE_{W,IC} = CTA_{W,IC} / WTA, \quad (4.24)$$

iar pentru energia termică produsă:

$$CNAE_{Q,IC} = CTA_{Q,IC} / QTA \quad (4.25)$$

unde: WTA reprezintă volumul energiei electrice produse pe perioada considerată, valoare actualizată;

QTA - volumul energiei termice produse pe perioada considerată, valoare actualizată.

Ținând cont de ultimele două relații, expresia (4.27) poate fi scrisă:

$$CTA_{IC} = CNAE_{W,IC} \cdot WTA + CNAE_{Q,IC} \cdot QTA. \quad (4.26)$$

În cazul instalațiilor de cogenerare, din motivul că acestea produc simultan și energie electrică și energie termică, apare problema repartiției efortului total realizat pe energiile produse. În literatura de specialitate [134] sunt prezentate mai multe metode de alocare a cheltuielilor între cele două forme de energii produse, printre care: metoda echivalenței de producție, metoda calorică, metoda termodinamică, metoda exergetică (paragraful 1.3.4), metoda fizică, metoda cheltuielilor remanente și metoda economică.

În lucrarea dată, pentru determinarea costurilor nivelate ale energiilor produse, se va utiliza *metoda cheltuielilor remanente*. În cazul utilizării acestei metode, cunoscând unul din costurile nivelate ale energiei (de exemplu $CNAE_{Q,IC}$) și acceptându-l la nivelul unei valori de referință $CNAE_{REF}$, ușor poate fi determinat celălalt cost:

$$CNAE_{W,IC} = (CTA_{IC} - CTA_{Q,REF}) / WTA. \quad (4.27)$$

În calitate de valoare de referință poate fi utilizat costul energiei termice produsă la o centrală termică, cu o capacitate asemănătoare, alimentată cu același tip de combustibil.

Se poate de procedat și invers – acceptând $CNAE_{W,IC} = CNAE_{W,REF}$, se poate determina valoarea costului nivelat al energiei termice:

$$CNAE_{Q,IC} = (CTA_{IC} - CTA_{W,REF}) / QTA. \quad (4.28)$$

În acest caz, ca valoare de referință poate servi costul energiei electrice furnizate din rețeaua de interes public.

4.2. Prezentarea scenariilor studiate

4.2.1. Varianta existentă de aprovizionare cu energie a fabricii (scenariul de bază)

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 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). Consumatorii de energia electrică sunt: cuptoarele, motoarele și acționările, iluminatul, pompele de apă, compresoarele de aer, instalațiile frigorifice ș.a.

Pentru efectuarea 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 cca. 7000 Gcal/an (29,3 TJ/an).

Aburul se utilizează în cuptoare pentru formarea crustei pâinii, iar apa fierbinte pentru efectuarea unor procese tehnologice, în calitate de apă caldă menajeră, precum și pentru încălzirea încăperilor. Pentru producerea energiei termice la centrala termică se consumă anual cca. 986 mii m³ de gaze naturale. Fabrica dispune de 2 cuptoare de panificație pe gaze naturale, de tipul celui studiat în lucrare, care consumă anual cca. 378 mii m³ de gaze naturale fiecare.

Un parametru foarte important în analiza economică a unui proiect de investiții reprezintă durata de funcționare a întreprinderii. 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 (fig. 4.1). Consumul de căldură se reduce în sezonul cald al anului în legătură cu lipsa necesarului pentru încălzire.

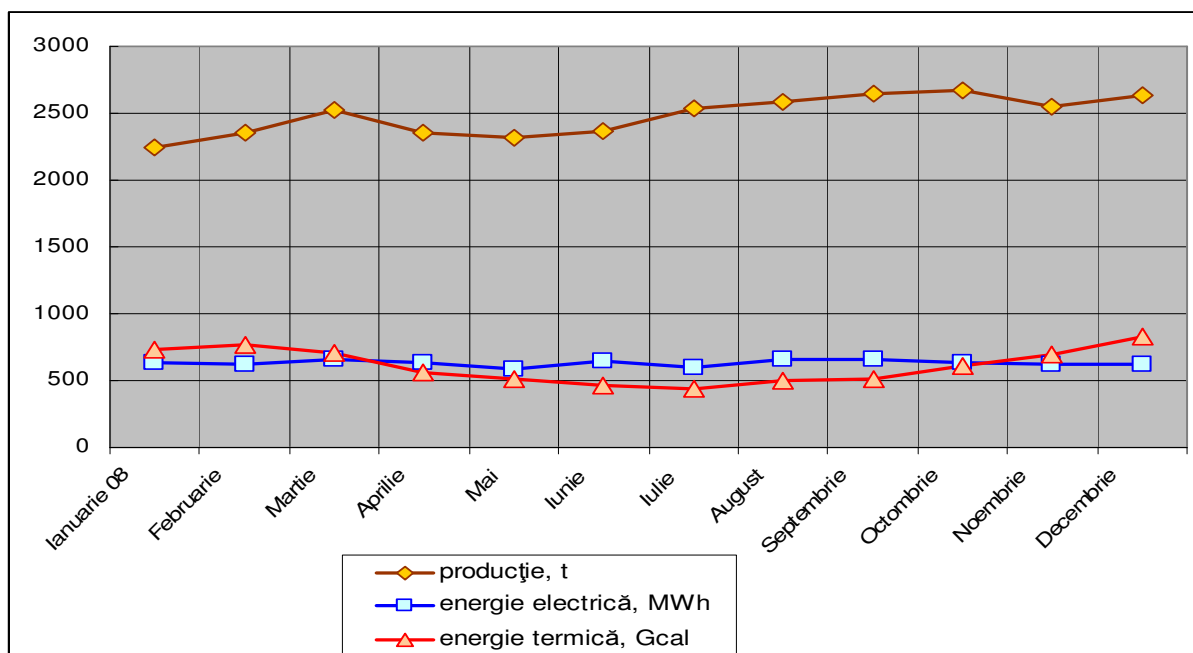


Fig. 4.1. Evoluția producției și a consumului de energie electrică și energie termică la fabrica de panificație

4.2.2. Varianta modernizată de aprovizionare cu energie a fabricii (scenariul de proiect)

În lucrare se propune integrarea unei instalații de cogenerare de tip PG475B, producție FG Wilson (M. Britanie), cu puterea de 380 kW_e, bazată pe utilizarea motorului cu ardere internă (tab. 4.1).

Sarcina termică a instalației de cogenerare constituie 683 kW_t, din care – 356 kW constituie sarcina termică a gazelor de ardere evacuate din MAI (vor fi debitate în canalele camerei de coacere a cuptorului de panificație) și 327 kW – sarcina termică a apei de răcire, care va fi utilizată pentru producerea apei fierbinți necesare pentru efectuarea proceselor tehnologice la fabrică (tab. 4.1).

Tabelul 4.1. Volumul anual al energiei produse la instalația de cogenerare

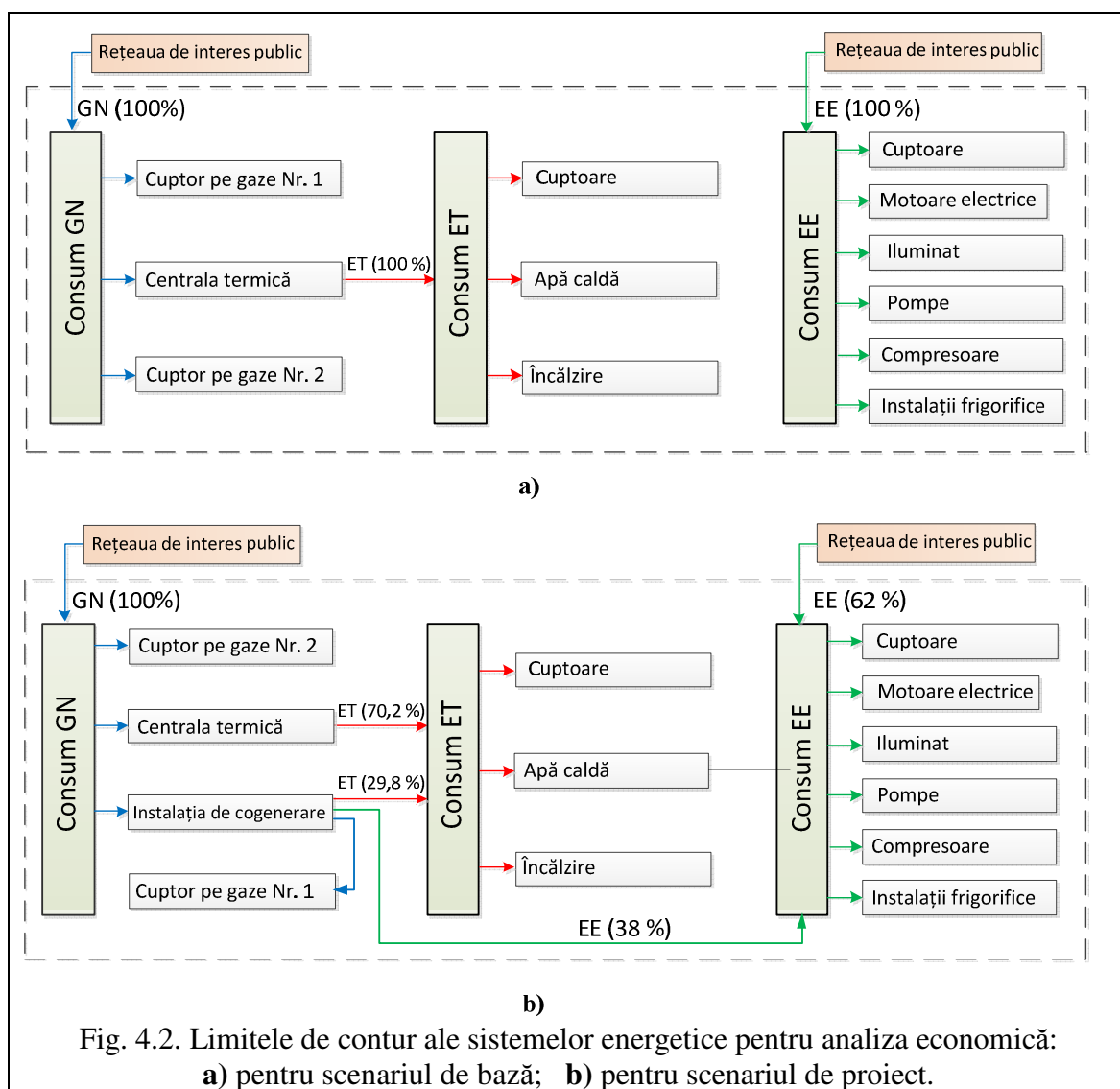
Instalație de cogenerare de tip PG475B	Putere instalată	electrică	<i>kW</i>	380
		termică	<i>kW</i>	683
	Volumul producției de energie	electrică	<i>MWh/an (GJ/an)</i>	2850 (10260)
		termică	<i>Gcal/an (GJ/an)</i>	2083,4 (8723,2)

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 (tabelul 4.2). Instalația de cogenerare va fi alimentată cu gaze naturale.

Tabelul 4.2. Consumurile totale de energie ale întreprinderii

Sursa de aprovizionare	Consumuri energetice		
	Energie electrică, kWh/an (TJ/an)	Energie termică, Gcal/an (TJ/an)	Gaze naturale, mii m ³ /an (GJ/an)
Înainte de implementarea proiectului			
Din rețeaua de interes public/procurări	7 500 000 (27)	-	1742 (58357)
Producție internă a întreprinderii	-	7000 (29,3)	-
Total	7 500 000 (27)	7000 (29,3)	1742 (58357)
După implementarea proiectului			
Din rețeaua de interes public/procurări	4 650 000 (16,74) (62%)	-	2020 (67670) (950 IC+378 Cupt N2+692 CT)
Instalația de cogenerare	2 850 000 (10,26) (38%)	2083 (8,7) (29,8%)	-
CT proprie	-	4917 (20,6) (70,2%)	-
Total	7 500 000 (27)	7000 (29,3)	2020 (67670)

În figura 4.2 sunt prezentate limitele de contur ale sistemelor energetice pentru analizele economice ale scenariului de bază și ale celui de proiect.



4.2.3. Descrierea datelor inițiale necesare calculului economic și justificarea lor

În tabelul 4.3 sunt prezente datele inițiale necesare efectuării calculelor de evaluare a eficienței economice a tehnologiei studiate.

Tabelul 4.3. Date inițiale pentru calculul fezabilității economice a instalației de cogenerare

Nr.	Indicator	Notație	Unitate	Valoare
1.	Numărul de unități de cogenerare	N_{UG}	unități	1
2.	Puterea electrică a instalației de cogenerare	$P_{nom,W}$	kW	380
3.	Puterea termică	$P_{max,Q}$	kW	683
4.	Durata de utilizare a puterii maxime	T_M	h/an	7 500
5.	Investiția specifică în instalația de cogenerare	i_{sp}	\$/kW _e	1000
6.	Cota reparației capitale din investiție [140]	k_{rep}	%	30
7.	Randamentul global al instalației de panificație CogIntegr	η_{gl}	%	76,3
8.	Resursa unității până la prima reparație capitală [141]	T_{sn}	h	60 000
9.	Durata de studiu	T	ani	14
10.	Căldura inferioară de ardere a gazelor naturale	Q_i	MJ/m ³	33,03
11.	Tariful la gazele naturale* [142]	$T_{comb,0}$	lei/ mie m ³	6138
12.	Cota anuală a cheltuielilor O&M din valoarea investiției**	$k_{O\&M,0}$	%/an	4,00
13.	Consumul specific de ulei [143]	$k_{ulei,0}$	g/kWh	0,14
14.	Prețul de achiziție al uleiului lubrifiant* [144]	$c_{ulei,0}$	lei/l	80,00
15.	Densitatea uleiului lubrefiant	ρ_{ulei}	kg/l	0,90
16.	Tariful la energia electrică în rețeaua de interes public* [145]	$T_{w,0}$	lei/kWh	2,16
17.	Rata de actualizare	i	%/an	11,00
18.	Anul de actualizare	θ		0
19.	Rata anuală de degradare a capacității de producere [146]	r_{degr}	%/an	0,50
20.	Rata anuală de creștere a consumului specific de combustibil [129]	r_b	%/an	0,50
21.	Rata anuală de creștere a costului gazelor naturale	r_{comb}	%/an	6,00
22.	Rata anuală de creștere a cheltuielilor O&M [129]	$r_{O\&M}$	%/an	5,00
23.	Rata anuală de creștere a consumului de ulei [129]	r_v	%/an	0,50
24.	Rata anuală de creștere a prețului uleiului lubrifiant***	r_{ulei}	%/an	7,00
25.	Rata anuală de creștere a tarifului la electricitate	r_E	%/an	6,00
26.	Rata de schimb valutar [137]	r_{SV}	lei/\$	20,00

* Valoarea de referință, raportată la anul 0.

** De obicei, pentru aceste tipuri de proiecte investiționale, $k_{O\&M,0} = 6\%$ [130], dar, deoarece în cheltuielile de operare și mentenanță pentru MAI sunt incluse și cheltuielile cu uleiul de lubrifiere, iar în studiul dat cheltuielile cu procurarea uleiului sunt considerate separat, se va accepta $k_{O\&M,0} = 4\%$.

*** Ținând cont de rata previzibilă a inflației.

Calculule tehnico-economice de evaluare a fezabilității proiectelor investiționale sunt efectuate pentru o *perioadă de studiu* T îndelungată, dar aceasta nu trebuie să depășească durata normată de viață a instalației T_{sn} considerată în proiect. În [129] se recomandă ca pentru măsurile de

îmbunătățire a performanței energetice a sistemelor ingineresti existente să se accepte o durată de studiu de 10 – 15 ani. Pentru studiul efectuat în lucrare se va considera o durată de studiu egală cu 14 ani.

Durata de utilizare a puterii maximale T_M reprezintă unul dintre cei mai decisivi parametri utilizați în calculele de evaluare a eficienței economice a proiectelor energetice. Valoarea acesteia a fost determinată în funcție de durata de funcționare a instalației de panificație – 22/24 h zilnic și durata de staționare a instalației de cogenerare pentru efectuarea lucrărilor de revizie tehnică – cca. 3 săptămâni/an:

$$T_M = (365 \cdot 22) - (21 \cdot 24) \approx 7500 \text{ h.} \quad (4.29)$$

În calculele tehnico-economice ce presupun evaluarea cheltuielilor totale actualizate CTA , rata i reprezintă un instrument de actualizare a eforturilor și efectelor economice. *Rata de actualizare* i , de obicei, se determină cu expresia:

$$i = r_b + r_{inf} + r_{risc}, \quad (4.30)$$

unde: r_b reprezintă rata dobânzii bancare, cerută în mod curent pentru creditele bancare;

r_{inf} - rata previzibilă a inflației;

r_{risc} - rata riscului (se acceptă o marjă de siguranță de 1...2% pe an pentru situații imprevizibile).

Analizând situația din domeniul economiei naționale [137] și luând în considerație recomandările din [130] pentru alegerea valorii ratei de actualizare pentru efectuarea calculelor curente pentru proiectele energetice, se va accepta $i = 11\%$.

Ratele de creștere a tarifelor la energia electrică r_E și la gaze naturale r_{comb} pot fi stabilite în baza analizelor retrospective despre evoluția acestora pe o perioadă anterioară, cu o durată egală cu durata de studiu T .

Evoluția reală retrospectivă a prețului (tarifului) pentru o resursă energetică sau energie considerată, poate fi aproximată cu o descriere matematică, ce corespunde unei funcții exponențiale simple [139]:

$$P_t = P_{t_0} \cdot (1+r)^{t-t_0}, \quad (4.31)$$

unde: P_t reprezintă prețul (tariful) în anul t ;

P_{t_0} - prețul în anul de referință t_0 ;

r - rata creșterii anuale a prețului.

În lucrarea [139] au fost evaluate ratele de creștere ale tarifelor la energie electrică și la gaze naturale pentru 3 perioade de timp: 5, 10 și 15 ani (tab. 4.4).

Din analiza datelor prezentate în tab. 4.4, rezultă că rata de creștere a tarifului la energia electrică pentru o durată de 15 ani, aproximativ egală cu durata de studiu acceptată în lucrare, va constitui 5,74 %/an în euro (sau 6,40 %/an în dolari). Se va accepta în calcule valoarea ratei de creștere a tarifului la energia electrică pe perioada de studiu $Tr_E = 6\%$.

Tabelul 4.4. Ratele de creștere a tarifelor și prețurilor la consumatorii finali, % /an

Resurse energetice și energie	5 ani, 2009-2013		10 ani, 2004-2013		15 ani, 1999-2013	
	Lei	Euro	Lei	Euro	Lei	Euro
Tarif gaze naturale	15,15	14,04	20,08	19,61	18,48	15,41
Tarif energie electrică	8,10	7,07	10,08	9,65	8,56	5,74

Pentru gazele naturale s-a estimat o rată de creștere a tarifului destul de mare, de cca 16 % pentru o durată de studiu egală cu 15 ani. Valoarea spectaculoasă a acestei rate se datorează în special creșterii cu cca 30% a prețului de cost la gazele naturale în perioada 2006-2012, fenomen care puțin probabil va avea loc în următorii 14 ani. De aceea, în lucrare se va accepta o rată de creștere a tarifului la gaze, egală cu rata de creștere a tarifului la energia electrică - $r_{comb} = 6\%$.

În anul 7 de activitate se vor petrece lucrări de reparație capitală a instalației de cogenerare.

Pentru a simplifica procesul de evaluare a eficienței economice a soluției tehnice propuse, s-a elaborat modelul analitic al cheltuielilor totale actualizate legate de utilizarea tehnologiilor CogIntegr, în baza căruia a fost pus la punct un program specializat de calcul al indicatorilor de eficiență economică în cazul implementării acestor tipuri de tehnologii, atât prin aplicarea modelului dinamic cât și cel static de determinare a CTA. Rezultatele calculelor prezentate în continuare au fost obținute prin utilizarea programului respectiv.

4.3. Evaluarea eficienței economice a soluției tehnice CogIntegr cu MAI

4.3.1. Calculul cheltuielilor totale actualizate (CTA) pentru scenariul de bază

Cheltuielile totale pe perioada de studiu CTA_{SB} , asociate variantei existente de alimentare cu energie a fabricii, includ cheltuielile cu achiziția energiei electrice CTA_{en} și gazelor naturale CTA_{comb} din rețeaua de interes public (Fig. 4.2.a):

$$CTA_{SB} = CTA_{en} + CTA_{comb} = 8164,8 + 5389 = 13554 \text{ mii } \$.$$

Cheltuielile totale cu procurarea energiei electrice pe perioada de studiu, în conformitate cu modelul static echivalent, relația (4.16), vor constitui:

$$CTA_{en} = C_{en,0} \cdot \bar{T}_{T,x3} = 810000 \cdot 10,08 = 8164,8 \text{ mii } \$ / \text{ an},$$

unde: $C_{en,0}$ reprezintă valoarea de referință a costului anual al electricității achiziționate, raportată la anul 0, determinată conform relației (4.17):

$$C_{en,0} = W_0 \cdot (T_{W,0} / r_{SV}) = 7500000 \cdot (2,16 / 20) = 810000 \text{ \$ / an};$$

- W_0 - volumul de energie electrică achiziționată, din tab. 4.2;
 $\bar{T}_{T,x3}$ - durata recalculată a perioadei de studiu, determinată la rata x_3 :
 $x_3 = (1+i) / (1+r_E) - 1 = (1+0,11) / (1+0,06) - 1 = 0,0472$.

Cheltuielile totale cu achiziția gazelor naturale pentru producerea energiei termice la centrala termică și pentru alimentarea cuptoarelor de panificație pe gaze, aferente scenariului de bază se vor calcula cu relația (4.14):

$$CTA_{comb} = C_{comb,0} \cdot \bar{T}_{T,x2} = 534620 \cdot 10,08 = 5389 \text{ mii \$ / an},$$

unde: $C_{comb,0}$ reprezintă valoarea de referință a costului anual al combustibilului procurat, raportată la anul 0, determinată conform relației (4.3):

$$C_{comb,0} = B_0 \cdot (T_{comb,0} / r_{SV}) = 1742 \cdot (6138 / 20) = 534620 \text{ \$ / an};$$

- B_0 - volumul de gaze naturale achiziționate în scenariul de bază, din tab. 4.2;
 $\bar{T}_{T,x2}$ - durata recalculată a perioadei de studiu, determinată la rata x_2 :
 $x_2 = (1+i) / (1+r_{comb}) - 1 = (1+0,11) / (1+0,06) - 1 = 0,0472$.

4.3.2. Evaluarea CTA pentru scenariul de proiect

Cheltuielile totale actualizate CTA_{SP} , asociate scenariului de proiect, se compun din cheltuielile totale aferente producerii de energie la instalația de cogenerare CTA_{IC} și procurării energiei electrice și a gazelor naturale din rețeaua de interes public CTA_{RIP} (fig. 4.2.b).

a) Cheltuielile totale aferente instalației de cogenerare CTA_{IC} pe perioada de studiu

Cheltuielile totale actualizate CTA_{IC} , în cazul producerii de energie în instalația de cogenerare, pe perioada de studiu a proiectului, vor fi determinate cu relația (4.7):

$$CTA_{IC} = CTA_I + CTA_{O\&M} + CTA_{comb} + CTA_{ulei}.$$

În Anexa 8 este prezentat calculul detaliat al tuturor componentelor din relația (4.7).

Cheltuielile cu investiția în instalația de cogenerare se determină luând în considerație investiția în achiziționarea, transportul și montajul acesteia, precum și în lucrările de reparație capitală a MAI în anul 7 de activitate.

Astfel, conform calculelor prezentate în Anexa 8, $CTA_I = 434,91 \text{ mii \$}$.

Cheltuielile de operare și mentenanță pentru instalațiile de cogenerare includ: costul materialelor (de 3-4 ori/lună este necesar de schimbat bujia și la fiecare 700-750 ore de funcționare - filtrele pentru uleiul de lubrifiere [147]), costul pieselor de rezervă, costul uneltelor și mecanismelor, costul forței de muncă (1-3 oameni/unitate de cogenerare [148]), costul consumului propriu de energie electrică (2-3% din producție [147]), costul apei de răcire.

Valoarea cheltuielilor totale actualizate pentru operarea și mentenanța instalației de cogenerare studiată în lucrare vor constitui $CTA_{O\&M} = 143,79$ mii \$.

Cheltuielile totale cu combustibilul consumat pe perioada de studiu CTA_{comb} se vor determina luând în considerație rata de majorare a consumului de combustibil datorită uzurii fizice a instalației de cogenerare și faptul că în anul 7 se vor petrece lucrări de reparație capitală a acesteia. Conform Anexei 8, aceste cheltuieli vor constitui $CTA_{comb} = 2937,11$ mii \$.

Cheltuielile totale cu uleiul lubrifianț consumat pe perioada de studiu CTA_{ulei} , similar ca în cazul determinării CTA_{comb} , se vor calcula ținând cont de faptul că în anul 7 se vor petrece lucrări de reparație capitală a instalației. Aceste cheltuieli vor constitui - $CTA_{ulei} = 19,43$ mii \$.

Astfel, Cheltuielile totale actualizate CTA_{IC} , aferente producerii de energie în instalația de cogenerare, pe perioada de studiu a proiectului, vor fi:

$$CTA_{IC} = CTA_I + CTA_{O\&M} + CTA_{comb} + CTA_{ulei} = 434,91 + 143,79 + 2937,11 + 19,43 = 3535,24 \text{ mii } \$.$$

b) Cheltuielile totale aferente achiziționării energiei suplimentare din rețeaua de interes public CTA_{RIP} pe perioada de studiu

Cheltuielile totale actualizate CTA_{RIP} includ cheltuielile cu achiziția energiei electrice CTA_{el} și cheltuielile cu combustibilul utilizat pentru producerea energiei termice la centrala termică și alimentarea cuptorului de panificație Nr. 2 CTA_{comb} (fig. 4.2.b):

$$CTA_{RIP} = CTA_{el} + CTA_{comb}, \quad (4.32)$$

În Anexa 8 este prezentat calculul detaliat al tuturor componentelor din relația (4.32).

Cheltuielile cu achiziția deficitului de energie electrică CTA_{el} se vor determina luând în considerație faptul că în anul 7 va avea loc reparația capitală a instalației de cogenerare și ținând cont de rata de degradare a acesteia datorită uzurii fizice,

Astfel, conform calculelor prezentate în Anexa 8, $CTA_{el} = 5122,53$ mii \$.

Cheltuielile cu achiziția suplimentară de gaze naturale CTA_{comb} , similar ca în cazul cheltuielilor cu achiziția deficitului de energie electrică, se vor determina luând în considerație faptul că în anul 7 va avea loc reparația capitală a instalației de cogenerare și ținând cont de rata de degradare a acesteia datorită uzurii fizice.

Valoarea acestor cheltuieli va constitui $CTA_{comb} = 3364,65$ mii \$.

Astfel, cheltuielile totale aferente achiziționării energiei suplimentare din rețeaua de interes public CTA_{RIP} pe perioada de studiu vor constitui:

$$CTA_{RIP} = CTA_{el} + CTA_{comb} = 5122,53 + 3364,65 = 8487,18 \text{ mii } \$.$$

Cunoscând componentele CTA_{IC} și CTA_{RIP} , pot fi determinate *cheltuielile totale actualizate în scenariul de proiect*:

$$CTA_{SP} = CTA_{IC} + CTA_{RIP} = 3535,24 + 8487,18 = 12022,42 \text{ mii } \$.$$

4.3.3. Analiza fezabilității proiectului investițional de eficientizare energetică

Economia netă totală actualizată pe perioada de studiu se va determina ca diferența dintre cheltuielile totale din scenariul de bază și cele din scenariul de proiect, relația (4.1):

$$EcNA = CTA_{SB} - CTA_{SP} = 13554 - 12022,42 = 1531,58 \text{ mii } \$.$$

Valoarea economiilor nete actualizate pe perioada de studiu fiind pozitivă, conform condiției expuse în relația (4.1), rezultă că proiectul dat este foarte 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:

$$EcNA / I_{IC} = 1531,58 / 380 = 4,03.$$

Durata de recuperare a investiției DR_a reprezintă un alt indicator de eficiență economică care reflectă capacitatea proiectului de a genera profit și restitui capitalul împrumutat. Se determină acest indicator cu condiția:

$$EcNA(DRa) = 0 \tag{4.33}$$

utilizând ecuația recurentă de calcul:

$$EcNA_t = EcNA_{t-1} + Ec_t (1+i)^{\theta-t}, \tag{4.34}$$

unde: $EcNA_t$ reprezintă economiile nete actualizate, aferente anului t ;

Ec_t - economiile anuale obținute în urma implementării proiectului:

$$Ec_t = CA_{t,SB} - CA_{t,SP},$$

$CA_{t,SB}$ - cheltuielile anuale de calcul conform scenariului de bază, calculate prin aplicarea modelului dinamic;

$CA_{t,SP}$ - cheltuielile anuale de calcul conform scenariului de proiect, calculate prin aplicarea modelului dinamic.

Aplicând relația (4.34) pentru fiecare an de studiu, pentru anul 0 de studiu valoarea economiilor nete actualizate constituie $EcNA_0 = - 380 \text{ mii } \$$; pentru anul 1 – $EcNA_1 = - 240 \text{ mii } \$$; pentru anul 2 – $EcNA_2 = - 107 \text{ mii } \$$, iar pentru anul anul 3 de studiu valoarea economiilor nete actualizate obțin o valoare pozitivă $EcNA_3 = 19 \text{ mii } \$$.

Astfel, pentru proiectul dat, durata de recuperare a investiției va constitui cca. 2,7 ani, ceea ce este foarte fezabil, ținând cont de faptul că durata de studiu constituie 14 ani.

4.3.4. Determinarea costurilor nivelate ale energiilor produse în scenariul de proiect

Determinarea costului energiei termice și electricității produse de instalația de cogenerare presupune alocarea cheltuielilor totale între cele două forme de energii produse. În acest scop, așa cum a fost menționat anterior, se va aplica metoda cheltuielilor remanente.

Conform acestei metode *costul nivelat al energiei electrice produse* de instalația de cogenerare poate fi determinat, conform relației (4.26):

$$CNAE_{w,ic} = (CTA_{ic} - CNAE_{Q,ic} \cdot QTA) / WTA = (3535,24 - (65,39 \cdot 30211,06) / 1000) / 19545 = 0,080 \text{ \$ / kWh},$$

unde: $CNAE_{Q,ic}$ reprezintă costul nivelat al energiei termice produse de instalația de cogenerare:

$$CNAE_{Q,ic} = (C_{Q,0} \cdot \bar{T}_{T,x7}) / \bar{T}_{T,i} = (45,28 \cdot 10,08) / 6,98 = 65,39 \text{ \$ / Gcal};$$

$C_{Q,0}$ - costul energiei termice produse la o centrală de referință, din Anexa 9;

$\bar{T}_{T,x7}$ - durata recalculată a perioadei de studiu, determinată la rata x_7 :

$$x_7 = [(1+i) / (1+r_{comb})] - 1 = [(1+0,11) / (1+0,06)] - 1 = 0,0472;$$

$\bar{T}_{T,i}$ - durata recalculată a perioadei de studiu, determinată la rata de actualizare i :

$$\bar{T}_{T,i} = [1 - (1+i)^{-T}] / i = [1 - (1+0,11)^{-14}] / 0,11 = 6,98 \text{ ani};$$

QTA - volumul energiei termice produse pe perioada considerată:

$$QTA = Q_0 \cdot \bar{T}_{T,x8} + Q_8 \cdot \bar{T}_{T,x8} \cdot (1+i)^{-7} = \\ = 5122,5 \cdot 4,63 + 5122,5 \cdot 4,63 \cdot (1+0,11)^{-7} = 35140,75 \text{ MWh} = 30221,05 \text{ Gcal};$$

Q_0 - valoarea de referință a producției anuale de căldură, aferentă anului 0:

$$Q_0 = P_{\max,Q} \cdot T_M = 683 \cdot 7500 = 5122,5 \text{ MWh / an};$$

$\bar{T}_{T,x8}$ - durata recalculată a perioadei de studiu, determinată la rata x_8 :

$$x_8 = [(1+i) / (1+r_{deg r})] - 1 = [(1+0,11) / (1-0,005)] - 1 = 0,1156;$$

Q_8 - valoarea de referință a producției anuale de căldură, aferentă anului 8:

$$Q_8 = Q_0;$$

WTA - volumul energiei electrice produse pe perioada considerată:

$$WTA = W_0 \cdot \bar{T}_{T,x8} + W_8 \cdot \bar{T}_{T,x8} \cdot (1+i)^{-7} = \\ = 2850 \cdot 4,63 + 2850 \cdot 4,63 \cdot (1+0,11)^{-7} = 19545 \text{ MWh};$$

W_0 - valoarea de referință a producției anuale de electricitate, aferentă anului 0:

$$W_0 = P_{nom,W} \cdot T_M = 380 \cdot 7500 = 2850 \text{ MWh / an};$$

W_8 - valoarea de referință a producției anuale de electricitate, aferentă anului 8:

$$W_8 = W_0.$$

Pentru a considera costul nivelat al energiei electrice produse ca unul bun, este necesar să se determine tariful nivelat al energiei electrice furnizate din RIP - $TNAE_w$ și să se respecte condiția: $CNAE_{w,ic} < TNAE_w$.

Tariful nivelat al energiei electrice, achiziționate din RIP - $TNAE_w$ poate fi determinat cu relația:

$$TNAE_w = \left[(T_{w,0} / r_{sv}) \cdot \bar{T}_{T,x_9} \right] / \bar{T}_{T,i} = \left[(2,16 / 20) \cdot 10,08 \right] / 6,98 = 0,156 \text{ \$ / kWh};$$

unde: \bar{T}_{T,x_9} reprezintă durata recalculată a perioadei de studiu, determinată la rata x_9 :

$$x_9 = \left[(1+i) / (1+r_E) \right] - 1 = \left[(1+0,11) / (1+0,06) \right] - 1 = 0,0472;$$

$\bar{T}_{T,i}$ - durata recalculată a perioadei de studiu, determinată la rata de actualizare i :

$$\bar{T}_{T,i} = \left[1 - (1+i)^{-T} \right] / i = \left[1 - (1+0,11)^{-14} \right] / 0,11 = 6,98 \text{ ani}.$$

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

Ca rezultat al analizei economice efectuate în lucrare, cu certitudine se poate de spus că integrarea instalațiilor de cogenerare în bază de MAI în cadrul instalațiilor de panificație este foarte fezabilă, atât din punct de vedere tehnic cât și economic.

4.4. Analiza sensibilității soluției tehnice propuse la variația parametrilor incerti

Deoarece analiza economică a proiectelor de investiții se face pentru o anumită perioadă de studiu T , există întotdeauna un risc de incertitudine. Multe date de intrare sunt incerte și vagi, de exemplu investiția în instalații I , durata de utilizare a puterii maxime T_M , ratele de creștere a prețurilor (tarifelor) la resursele energetice ș.a.

Incertitudinea informațiilor de intrare provoacă o incertitudine în valorile indicatorilor de eficiență, gradul de incertitudine crescând odată cu extinderea duratei de studiu.

Studiul de fezabilitate economică a tehnologiei CogIntegr studiată în lucrare a demonstrat fezabilitatea acesteia. Acest studiu a fost efectuat pentru o întreprindere industrială cu o durată optimă de funcționare a instalației de panificație și un coeficient maximal de încărcare a sarcinii. Dar întreprinderile industriale au durate diferite de utilizare a puterii maxime în funcție de regimul de activitate a acestora. De obicei, întreprinderile care activează în 3 schimburi durata de utilizare a puterii maxime T_M constituie 6500÷7500 h/an, pentru cele în 2 schimburi 4000÷4500 h/an, iar cele într-un singur schimb - 2000÷3000 h/an.

Este necesar de clarificat subiectul despre fezabilitatea implementării tehnologiilor CogIntegr la întreprinderea de panificație în cazul în care aceasta va activa în unul sau două schimburi, respectiv la durate de utilizare a puterii maxime mai mici decât cea a întreprinderii la momentul actual.

În studiul economic efectuat în lucrare s-a operat cu o anumită valoare a investiției specifice în instalația de cogenerare. Valorile investițiilor specifice în instalații de cogenerare bazate pe MAI diferă în funcție de capacitatea acestora și compania producătoare. Este necesar de efectuat o analiză despre valoarea venitului net obținut în cazul implementării tehnologiilor CogIntegr cu diferite valori ale investițiilor specifice în acestea.

În tabelul 4.5 sunt prezentate valorile investițiilor specifice în MAI de diverse capacități. Analiza sensibilității la variația investițiilor specifice în MAI se va face operând cu datele indicate în acest tabel.

Tabelul 4.5. Investiția specifică în tehnologia bazată pe MAI, $\$/kW_e$ [136]

Puterea MAI, kW_e	Cu valorificarea energiei termice		Fără valorificarea energiei termice	
	min	max	min	max
100	1100	1550	900	1250
500	1000	1400	800	1100
1000	900	1230	800	1100

În funcție de capacitatea întreprinderii poate varia și capacitatea cuptoarelor de panificație. Astfel, este necesar de verificat faptul dacă tehnologia CogIntegr va rămâne fezabilă indiferent de capacitatea instalației de panificație în care prima urmează să fie integrată. Pentru a răspunde la aceste întrebări în continuare se vor prezenta analizele de sensibilitate a soluției tehnice propuse la variația duratei de utilizare a puterii maxime, a investiției specifice în instalația de cogenerare și puterii nominale a acesteia.

Variația economiilor nete la modificarea duratei de utilizare a puterii maxime

Durata de utilizare a puterii maxime T_M reprezintă timpul necesar, în cazul când consumatorii ar prelua din rețea o putere constantă și egală cu puterea maximală, pentru a consuma aceeași cantitate de energie ca la funcționarea normală, după curba de sarcină reală.

Trebuie de menționat faptul că întreprinderea de panificație pentru care s-a evaluat fezabilitatea economică a implementării tehnologiei CogIntegr funcționează în trei schimburi, instalația de cuptoare studiată funcționează 22/24 h iar puterea instalației de cogenerare a fost selectată în funcție de necesarul de energie termică pentru efectuarea procesului tehnologic din cuptor, de aceea valoarea duratei de utilizare a puterii maxime a fost acceptată $T_M = 7500$ h/an.

Pentru a face analiza sensibilității soluției tehnice la modificarea duratei de funcționare a întreprinderii, în tabelul 4.6 au fost prezentate valorile economiilor nete care vor fi obținute pe perioada de studiu și ale costurilor nivelate ale energiei electrice produse de instalația de cogenerare studiată în lucrare, la diferite valori de utilizare a puterii maxime.

Conform datelor prezentate în tabelul 4.6, se pot desprinde următoarele generalizări:

- Pentru un regim de funcționare a întreprinderii în 3 sau 2 schimburi, implementarea tehnologiei CogIntegr în cadrul acesteia se dovedește a fi foarte atractivă.
- Dacă întreprinderea ar funcționa într-un singur schimb (2000÷3000 h/an), implementarea tehnologiei CogIntegr în cadrul acesteia va rămâne în continuare fezabilă; la o durată de utilizare a puterii maxime de 2850 h/an, întreprinderea va obține o valoare a $EcNA$ egală cu valoarea investiției în instalația de cogenerare.
- La valoarea $T_M = 1760$ h/an $CNAE_{W,IC}$ devine egal cu $TNAE_w$, dar această valoare a duratei de utilizare a puterii maxime nu poate fi reală.

Deci, soluția tehnică propusă va fi fezabilă indiferent de numărul de schimburi în care activează întreprinderea, dar trebuie de ținut cont de faptul că valorile criteriilor de eficiență economică scad odată cu micșorarea duratei de utilizare a puterii maxime.

Tabelul 4.6. Variația criteriilor de eficiență economică în funcție de T_M

T_M , h/an	$EcNA$, mii \$	$CNAE_{W,IC}$, \$/kWh	$TNAE_w$, \$/kWh
7500	1531,58	0,080	0,156
7000	1408,18	0,083	
6500	1284,75	0,085	
4500	791,03	0,096	
4000	667,6	0,101	
3000	420,73	0,115	
2850	383,7	0,118	
1760	114,63	0,156	

Variația economiilor nete la modificarea valorii investiției în instalație

În calculul fezabilității economice a tehnologiei CogIntegr cu MAI studiată în lucrare s-a acceptat o valoare a investiției specifice în instalația de cogenerare $i_{sp} = 1000$ \$/kW_e. Conform datelor prezentate în tab. 4.5, investiția specifică în tehnologia bazată pe MAI, pentru valori ale puterii acestuia cuprinse între 100 ÷ 500 kW_e, poate constitui 800 ÷ 1400 \$/kW_e.

Pentru a face analiza sensibilității soluției tehnice la modificarea valorii investiției specifice în MAI-ul care urmează a fi integrat în instalația de panificație studiată în lucrare, în tabelul 4.7 au fost prezentate valorile economiilor nete actualizate și ale costurilor nivelate ale energiei electrice produse de instalația de cogenerare, la diferite valori ale investiției specifice.

Conform datelor prezentate în tabelul 4.7, se pot deduce următoarele concluzii:

1. Cu cât valoare investiției specifice în instalația de cogenerare crește cu atât valoare economiilor nete obținute pe perioada de studiu se diminuează, iar valoarea costului nivelat al energiei electrice produse de instalația de cogenerare crește.
2. Pentru oricare valoare a investiției specifice în instalația de cogenerare din domeniul 1000÷1400 \$/kW_e, implementarea soluției tehnice propuse se dovedește a fi foarte atractivă.

Tabelul 4.7. Variația criteriilor de eficiență economică în funcție de i_{sp}

i_{sp} , \$/kW	$EcNA$, mii \$	$CNAE_{w,IC}$, \$/kWh	$TNAE_w$, \$/kWh
1000	1531,58	0,080	0,156
1100	1473,74	0,084	
1200	1415,87	0,087	
1300	1357,99	0,090	
1400	1300,12	0,093	

Variația economiilor nete la modificarea capacității cuptorului de panificație

Parametrul principal în baza căruia se selectează tipul instalației de cogenerare care urmează a fi integrată în instalația de panificație reprezintă sarcina termică a gazelor de ardere necesară pentru efectuarea procesului de coacere a pâinii în camera de coacere a cuptorului. Sarcina termică necesară a gazelor de ardere variază în funcție de capacitatea cuptorului.

Pentru toată gama de capacități ale cuptoarelor de panificație de tip PPP, în funcție de parametrii necesari indicați în tab. 3.5, s-au selectat instalații de cogenerare produse de 3 companii diferite A, B și C. Parametrii de funcționare a tuturor motoarelor cu ardere internă selectate sunt prezentați în tab. 4.8.

Pentru toate instalațiile de cogenerare selectate s-a efectuat calculul de evaluare a eficienței economice a implementării acestora la întreprinderea de panificație analizată cu ajutorul programului specializat. Rezultatele calculelor economice au fost introduse tot în tab. 4.8.

Notațiile din tab. 4.8 au următoarele semnificații:

- G - capacitatea cuptorului, din tab. 3.5;
- $P_{nom,W}$ - puterea electrică a MAI;
- i_{sp} - investiția specifică în MAI, în conformitate cu datele din tab. 4.5;
- Q_{ge} - sarcina termică a gazelor eșapate din MAI;
- Q_r - sarcina termică de răcire a MAI;
- I - investiția cu instalația de cogenerare.

Conform datelor prezentate în tabelul 4.8, se pot desprinde următoarele idei:

- Pentru toate cuptoarele indicate în tabelul 4.8, indiferent de productivitatea acestora și tipul companiei producătoare de instalații de cogenerare bazate pe MAI, s-au obținut valori fezabile ale criteriilor de eficiență economică în cazul implementării acestora la întreprinderea de panificație considerată.
- Odată cu creșterea productivității cuptoarelor, indiferent de compania producătoare, eficiența economică a acestora se diminuează, aceasta se explică prin faptul că crește valoarea cheltuielilor totale actualizate cu investiția în instalația de cogenerare.
- În cazul implementării instalațiilor de cogenerare bazate pe MAI de puteri indicate în tab. 4.8, în funcție de puterea nominală a acestora și tipul companiei producătoare, costul nivelat al energiei electrice produse de acestea constituie $CNAE_{w,IC} = 0,067 \div 0,088$ \$/kWh, care sunt destul de atractive luând în considerație faptul că valoarea tarifului nivelat al energiei electrice achiziționate din RIP constituie $TNAE_w = 0,156$ \$/kWh.
- Pentru cuptoarele de productivități mai mici, în cazul integrării cogenerării în acestea, economiile nete obținute pe perioada de studiu sunt mai semnificative în raport cu investiția în tehnologia CogIntegr.

Tabelul 4.8. Variația criteriilor de eficiență economică în funcție de productivitatea cuptorului

G , kg/h	$P_{nom,w}$, kW	i_{sp} , \$/kW _e	Q_{ge} , kW	Q_r , kW	$EcNA$, mii \$	$CNAE_{w,IC}$, \$/kWh	$EcNA/I$
Compania producătoare A							
342	125	1200	135	139	2100,95	0,067	14,0
540	230	1100	185	264	1984,63	0,077	7,8
558	250	1100	196	254	1959,37	0,078	7,1
792	375	1000	273	451	1681,81	0,086	4,5
810	375	1000	273	451	1681,81	0,086	4,5
1458	750	900	509	688	1218,20	0,084	1,8
Compania producătoare B							
450	192	1200	183	102	1756,59	0,071	7,6
684	300	1150	266	193	1774,02	0,071	5,1
900	380	1000	356	327	1531,58	0,080	4,0
954	380	1000	356	327	1531,58	0,080	4,0
972	380	1000	356	327	1531,58	0,080	4,0
1008	380	1000	356	327	1531,58	0,080	4,0
1296	600	900	457	525	1481,29	0,088	2,7
1782	800	800	618	771	1355,89	0,074	2,1
1944	992	800	673	548	977,51	0,082	1,2
Compania producătoare C							
1080	505	900	397	452	1718,19	0,073	3,8
1134	505	900	397	452	1718,19	0,073	3,8

Concluzii la Capitolul 4

1. Fezabilitatea economică a instalațiilor de cogenerare, ca surse de energie, în caz general se determină în baza criteriului - venitul net actualizat maximum, sau în caz particular - în baza comparării costului nivelat al energiei produse cu costul de furnizare a energiei la sursa de referință.
2. La aplicarea tehnologiei CogIntegr, fezabilitatea utilizării instalației de cogenerare (IC) se determină prin compararea cheltuielilor totale actualizate (CTA) pentru două scenarii – celui de bază (fără IC) și celui de proiect (cu IC). În cazul în care utilizarea tehnologiei CogIntegr conduce la o diminuare apreciabilă a costurilor totale aferente procesului de panificație în raport cu riscurile asociate – integrarea cogenerării se consideră fezabilă.
3. În lucrare s-a propus și este realizat calculul CTA pentru cele două scenarii cu utilizarea modelelor economice statice-echivalente. Metodologia de evaluare a eficienței economice, elaborată în lucrare, poate fi aplicată oricărui tip de tehnologie CogIntegr, indiferent de tipul instalației cu care urmează a fi integrată.
4. Studiul economic efectuat a dovedit că soluția tehnică de integrare a IC în cea de panificație este foarte atractivă, generând economii nete considerabile. Durata de recuperare a investiției, pentru cazul considerat în lucrare, reprezintă cca 2,7 ani față de durata de viață de 14 ani, iar costul nivelat al energiei electrice produse a rezultat - 0,080 \$/kWh, în comparație cu valoarea tarifului nivelat al energiei electrice achiziționate din rețea egală cu 0,156 \$/kWh, ceea ce demonstrează existența unor beneficii economice substanțiale.
5. Se constată 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 este fezabilă, generând în toate cazurile economii nete importante și costuri reduse ale energiei electrice produse.

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 [28, 56, 149].
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 [2, 22].
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 [2].
4. Studiul efectuat în lucrare a demonstrat faptul 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 acestora și sporirii eficienței energetice în final [42].
5. În lucrare a fost propus și dezvoltat un concept nou de sporire a eficienței energetice a instalațiilor industriale, ce utilizează în calitate de 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, astfel sporind eficiența energetică a acestuia cât și a instalației de panificație în ansamblu [152].
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 [151].
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 [153].

8. În lucrare s-a dovedit că integrarea cogenerării în instalația de cuptoare 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 [153];
 - 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.

BIBLIOGRAFIE

1. Producția principalelor produse industriale (2007-2014). <http://www.statistica.md/category.php?l=ro&idc=127&> (vizitat pe 14.03.2016).
2. Chelmenciuc C., Guțu C. *Sporirea eficienței energetice în brutării*. În: Conferința Tehnicostiințifică a Colaboratorilor, Doctoranzilor și Studenților UTM, 2011, p. 320-323, 0,25 c.t.
3. Balanța energetică a R. Moldova 2014. Chișinău: 2015. 79 p.
4. Directiva 2012/27/UE a Parlamentului European și a Consiliului privind eficiența energetică, de modificare a Directivelor 2009/125/CE și 2010/30/UE și de abrogare a Directivelor 2004/8/CE și 2006/32/CE, din 25 octombrie 2012.
5. Legea cu privire la energia termică și promovarea cogenerării. Nr. 92 din 29.05.2014. Publicată: 11.07.2014 în Monitorul Oficial al R. Moldova nr.178-184/415.
6. Legea cu privire la eficiența energetică. Nr. 142 din 02.07.2010. Publicată: 03.09.2010 în Monitorul Oficial al R. Moldova nr.155-158/545.
7. *История возникновения хлеба*. <http://hlebopek.ru/istoriya/> (vizitat pe 07.02.2015).
8. Pîrllog N. *Pâinea și tainele sale*, 2013. <http://www.descopera.ro/cultura/11692363-painea-si-tainele-sale> (vizitat pe 07.02.2015).
9. Franzeluța S.A. <http://www.franzeluta.info/history.html>
10. *Anuarul statistic al R. Moldova 2013*. Biroul Național de statistică al R. M. Chișinău, 2013, 556 p.
11. Steclaru D., Mamaliga V. *Analiza volumelor de producere și desfacere în industria de panificație*. În: Meridian ingineresc, 2009, nr. 3, p. 70-74.
12. Moroz V., Poisic M., Ignat A. *Transformarea industriei agroalimentare în Republica Moldova*. Chișinău, 2012, 9 p. <http://ince.md/ro/activitatea-ince/publicacii/255-transformarea-industriei-agroalimentare-n-republica-moldova.html> (vizitat pe 07.02.2015).
13. Biroul Național de Statistică. <http://www.statistica.md/newsview.php?l=ro&idc=168&id=4832>
14. Bordei D. *Tehnologia modernă de panificație*. București: Agir, 2005. 448 p.
15. *Fabricarea pâinii albe*. <http://www.referatele.com/diverse/Proiect-Fabricarea-painii-albe418.php> (vizitat pe 21.03.2015).
16. Boiștean O. ș.a. *Metode moderne de preparare a pâinii*. Chișinău: UTM, 2009. 62 p.
17. Lupu O. *Bazele teoretice ale panificației*. Ciclul de prelegeri. Chișinău: UTM, 2007. 75 p.
18. Соловьева Е., Мамцев А., Скороваров Н. *Технологическое оборудование предприятий хлебопекарной промышленности*. Мелеуз: Первый казачий университет, 2014. 158 p.
19. Alexandru R. ș.a. *Economia de energie în industria alimentară*. București: Editura Tehnică, 1991. 354 p.
20. Брызун В. *Повышение эффективности выпечки в современных хлебопекарных печах*. Автореф. Диссертации доктор технических наук. Москва, 1994.
21. *Снижение энергетических затрат на предприятиях хлебопекарной промышленности*. IFC, 2009. <http://siteresources.worldbank.org/INTRUSSIANFEDERATION/Resources/305499-1291044797591/bread.pdf> (vizitat pe 11.08.2015)
22. Chelmenciuc C. Cocimari C., Dzero N. *Analiza pierderilor de căldură prin pereții cuptorului de coacere a pâinii*. În: Culegere de lucrări științifice în cadrul Conferinței studenților, masteranzilor și doctoranzilor, UTM, 2013, p.361 – 364. p. 365-368.
23. Галаган Т. *Совершенствование процесса вакуумно-испарительного охлаждения хлебобулочных изделий*. Автореферат диссертации. Орел, 2003. 24 с.

24. Лагуш И. *Вакуумное охлаждение хлеба*. В: Журнал "Продукты&Ингредиенты", 2011, nr. 4, <http://www.meatbusiness.ua/article.php?p=723&j=1> (vizitat pe 28.03.2015).
25. Сороко О и. д. *Перспективы использования вакуум-испарительного охлаждения для хлеба*. В: Материалы IX Международной научно – практической конференции "Инновационные технологии в пищевой промышленности", Минск, 2010, с. 116-118.
26. Rosell C., Gómez M. *Frozen dough and partially baked bread*. În: Food Reviews International, 2007, nr. 3, p. 303-319.
27. *Hotărâre privind tarifele la gazele naturale*. Nr. 425 din 29 septembrie 2011. În: Monitorul Oficial al Republicii Moldova, 30.09.2011, nr. 160-163/1459.
28. Chelmenciuc C., Guțu A. *Conceptul sistemelor contemporane de alimentare cu căldură a întreprinderilor industriale*. În: lucrările conferinței internaționale "Energy of Moldova – 2012. Regional aspects of development", 2012. p. 161-164.
29. Громцев С. А. и. д. *Хлебопекарные и кондитерские печи*. Санкт - Петербург: ГУНПТ, 2002.
30. Антипов С. Т. и. д. *Машины и аппараты-образователи пищевых сред. Оборудование для ведения тепло-массообменных процессов*. Минск: БГАТУ, 2008. 591 с.
31. W. Trinks ș.a. *Industrial furnaces*. Sixth Edition. New Jersey: John Wiley and sons, 2004, 492 p.
32. Л. Ауэрман. *Технология хлебопекарного производства*. 9-е изд. Санкт-Петербург: Професия, 2005. 416 с.
33. G. Moldoveanu, ș.a. *Cartea brutarului*. București: Editura Tehnică, 1973. 245 p.
34. А. Михелев. *Справочник по хлебопекарному производству*. Москва: Пищевая промышленность, 1977, 365 с.
35. И. Маклюков, В. Маклюков. *Промышленные печи хлебопекарного и кондитерского производства*. Москва: Легкая и пищевая промышленность, 1983, 272 с.
36. Т. Цыганова. *Технология хлебопекарного производства*. Москва: ПрофОбрИздат, 2002, 432 с.
37. R. Burluc. *Tehnologia și controlul calității în industria de panificație*. Galați, 2007, 119 p.
38. Т. Степанова. *Печи хлебопекарной промышленности*. Москва: ГУЦ „Профес.”, 1999, 40 с.
39. Хлебопекарные печи. <http://moskva.d-o-o-b.ru/c85-321444.html> (vizitat pe 05.08.2015).
40. Модульные печи. <http://okant.ru/khlebopekarnoe-oborudovanie/khlebopekarnye-pechi/podovye-pechi/modulnye-pechi-kumkaya-serii-gf> (vizitat pe 05.08.2015).
41. Шевченко Р. и. д. *Сравнительный эколого-энергетический анализ хлебопекарных печей*. В: Харчова наука и технология, 2011, номер 1(14), с. 80-84.
42. Chelmenciuc C., Musteață V., Tcaci L. *Reducerea ireversibilității proceselor în cuptorul de coacere a pâinii*. În: Culegere de lucrări științifice în cadrul Conferinței studenților, masteranzilor și doctoranzilor, UTM, 2013, p.361 – 364.
43. Bejan A. *Termodinamica tehnică avansată*. București: Editura Tehnică, 1996. 848 p.
44. Bejan A., Tsatsaronis G., Moran M. *Thermal design and optimization*. New-York: John Wiley & Sons, INC, 1996, 513 p.
45. Brodianskii V. *Termodinamica clasică la începutul secolului XXI*. București: Agir, 2002. 78 p.
46. Нестерчук Е. *Эксергия и эксергетический баланс термодинамических процессов*. В: Вестник молодых ученых ИВГУ, 2001, Nr. 1, с. 122-125.
47. Carabogdan I. ș.a. *Metode de analiză a proceselor și sistemelor termoenergetice*. București: Editura Tehnică, 1989. 335 p.

48. Сажин Б., Булеков А., Сажин В. *Эксергетический анализ работы промышленных установок*. Москва: МГТУ, 2000. 297 с.
49. Bilanțul energetic al cazanului. <http://www.scrigroup.com/tehnologie/tehnica-mecanica/BILANTUL-ENERGETIC-AL-CAZANULU61892.php> (vizitat pe 014.08.2015).
50. Răducanu C ș.a. *Bilanțuri termoenergetice*. București: Editura BREN, 2004. 165 p.
51. Horbaniuc B. *Bilanț și audit energetic*. Iași, 2009. 131 p.
52. Степанов В. *Анализ энергетического совершенства технологических процессов*. Новосибирск: Наука, 1984. 274 с.
53. Răducanu C., Pătrașcu R. *Evaluarea eficienței energetice*. București: Agir, 2006. 126 p.
54. Carabogdan I. *Bilanțuri Energetice. Probleme și aplicații*. București: Editura Tehnică, 1986. 525 p.
55. Musteață V. *Termodinamica tehnică și procese tehnologice*. Chișinău: UTM, 2006. 88 p.
56. Chelmenciuc C., Musteață V., Guțu A. *Increasing energy efficiency in industry of the Republic Of Moldova*. 8th International Conference on Electrical and Power Engineering, SIELMEN-2011, 2011. p. 332-335.
57. Guțu A., Tscaci L. *Eficiența energetică*. Chișinău: UTM, 2012. 152 p.
58. Старикова Н. *Разработка методов и показателей для термодинамического анализа системы теплоснабжения как единого комплекса*. Автореф. Диссертации доктор технических наук. Улан-Удэ 2012
59. Степанов В. *Потенциалы и резервы энергосбережения в промышленности*. Новосибирск: Наука, 1990. с. 248.
60. Степанов В., Старикова Н. *Оценка эффективности использования тепловой энергии в системах отопления и горячего водоснабжения*. Киев: ИСЭ, 1991.
61. Stăncescu I., Athanasovici V. *Termoenergetică industrială*. București: Editura Tehnică, 1979. 412 p.
62. Nerescu I., Radcenco V., *Analiza exergetică a proceselor termice*. București: Editura Tehnică, 1970. 173 p.
63. Бродянский В. *Энергия – проблема качества*. В: Наука и Жизнь, 1982, №3.
64. Рант З. *Эксергия - новый термин для обозначения "Технической работоспособности"*. В: Вопросы термодинамического анализа". Москва: Мир, 1965. 244 с.
65. Шаргут Я. Петела Р. *Эксергия*. Москва: Энергия, 1968. 278 с.
66. Гохштейн Д. *Энтропийный метод расчета энергетических потерь*. М: ГЭИ, 1963. с. 111.
67. Андриющенко А. *О применении эксергии для анализа совершенства и оптимизации теплоэнергетических установок*. В: Энергетика, 1989, Nr. 4. с. 59-63.
68. Степанов В., Степанова Т. *Расчет химической энергии и эксергии технических топлив*. В: Энергетика, 1994, Nr. 1. с. 106-115.
69. Roșca M., Błaga A. *Termotehnică*. Oradea: Editura Universității Oradea, 2008. 165 p.
70. Сажин Б., Буленков А. *Эксергетический метод в химической технологии*. Москва: Химия, 1992. 208 с.
71. Веретельник Т. *Эксергетический анализ химико-технологических систем*. В: Вісник ЧДТУ, 2008, Nr. 1. с. 192-195.
72. Гиббс Д. *Термодинамические работы*. Москва: Гостехтеориздат, 1950. с. 492.
73. Gouy G. *Sur l'energie utilisable*. In: Journal de physique, 1889, nr. 118, p. 501-518.
74. Stodola A. *Die Kreisrozesse der Gasmachine*. In: VDI, 1898, nr. 38.

75. Андриющенко А. *Техническая работоспособность термодинамических систем*. Саратов: САДИ, 1956. с. 67.
76. Бродянский В. *Эксергетический метод термодинамического анализа*. Москва: Энергия, 1973. с. 296.
77. Бродянский В. *Эксергетический метод и его приложения*. Москва: Энергоатомиздат, 1988. с. 288.
78. Степанов В. *Химическая энергия и эксергия веществ*. Новосибирск: Наука, 1990. 163 с.
79. Гохштейн Д. *Современные методы термодинамического анализа энергетических установок*. Москва: Энергия, 1969. с. 396.
80. Янтовский Е. *Потоки энергии и эксергии*. Москва: Наука, 1988. с. 144.
81. Ioniță C. "About the Application of Extended Exergy Analysis to the Optimization of Industrial Systems Using Cost/Quality Ratio. În: ECOS 2000, Universitatea Twente, Olanda, p.187-198.
82. Sajin T. *Termoeconomie*. Vasău: Editura Alma Mater, 2002, 125 p.
83. Степанова Т. Б., Старикова Н. В. *Эксергетический метод анализа и его приложение в энергетических исследованиях*. В: Научный журнал "Вопросы естествознания", 2014, Nr. 3. с. 60-71.
84. Степанова Т. Б. *Методика комплексного энергетического анализа технических систем*. В: Проблемы Энергетики, 2000. Nr. 9-10. с. 50-61.
85. Moran M. *Engineering Thermodynamics*. Boca Raton: CRC Press LLC, 1999. 89 p.
86. Cornelissen R. *The use of exergy analysis and the reduction of irreversibility*. The Netherlands: Febodruk BV, 1997. 170 p.
87. Umberto L. *Entropy and exergy in irreversible renewable energy systems*. In: Elsevier. Renewable and sustainable energy reviews, 2013, Nr. 20. p. 559-564.
88. Островская А. и д. *Расчет потерь эксергии при сжигании топлива методами неравновесной термодинамики*. В: Тепло-энергетика, 2008, Nr. 3. с. 2-6.
89. Долгополов И., Тучин В. *Теплоэксергетический метод моделирования физико-технологических систем*. <http://www.belfes.ru/bEx.htm> (vizitat pe 17.08.2015).
90. Сафронов В. *Принципы построения и анализ эффективности химико-энергетических систем*. Куйбышев: Авиационный институт, 1978. 92 с.
91. Дмитроченкова Э. *Эксергетический анализ когенерационной установки на базе реконструированного двигателя внутреннего сгорания*. В: Вісник Донбаської національної академії будівництва і архітектури, 2010, Nr. 6. с. 108-116.
92. Ioniță I. „Analiză exergoeconomică și optimizare cost-calitate”. În: Termotehnica, anul VI, nr.2/2001, p.10-16.
93. Panait T., Uzuneanu K., Drăgan M., C. Gheorghiu. *Exergoeconomie și protecția mediului*. În: Termotehnica, nr. 2/2002, pag. 12-21.
94. Draganov B ș.a. *Energy system optimization by means of exergy analysis method*. In: Termotehnica, 2014, Nr.1. p.12-15.
95. Palaș S. *Studiu exergoeconomic de rentabilitate a funcționării unei centrale termoelectrice*. Teză de doctorat în tehnică. Galați, 2005. 134 p.
96. Begleț N. *Studiu exergoeconomic de rentabilitate pentru o secție metalurgică*. Teză de doctorat în tehnică. Galați, 2005. 128 p.
97. Musteață V., Chelmenciuc C., Butenco N. *The thermodynamic analysis of the technological processes*. În International Conference on Electrical and Power Engineering, EPE – 2010.

98. Mogoreanu N. *Intensitatea energetică în R. Moldova*. În: Energy of Moldova – 2012. Regional aspects of development, 2012. p. 188-190.
99. Казаков В. и. д. *Термодинамические методы анализа в энергоиспользующих процессах*. С. Петербург, 2011. 93 с.
100. Feidt M. *Termodinamica și optimizarea energetică a sistemelor și proceselor*. București: BREN, 2001. 442 p.
101. Тсатсаронис Джордж. *Взаимодействие термодинамики и экономики для минимизации стоимости энергопреобразующей систем*. Одесса, 2002. с. 152
102. Begleț N., Palaș S. *Analiza exergoeconomică a proceselor de tratare termică – factor important în analiza calității proceselor industriale*. În: Buletinul AGIR, 2004, Nr. 4. p.7-10.
103. Radcenco V. ș.a. *Abordarea metodei exergoeconomice de analiză termodinamică pe baza conceptului „Expower”*. În: Termotehnica, 2001, Nr. 1. p. 10-18.
104. Чеджне Ф и.д. *Эксергоэкономический анализ систем*. В: Теплоэнергетика, 2001, Nr. 1. с.74-79.
105. Vuckovic G. *Avoidable and unavoidable exergy destruction and exergoeconomic evaluation of the thermal processes in a real industrial plant*. In: Thermal Science, 2012, Vol. 16. p. 433-446.
106. Verda V., Kona A. *Thermoeconomics as a tool for the design and analysis of energy savings initiatives in buildings connected to district heating networks*. In: International Journal of Thermodynamics, 2012, Vol. 15. p. 221-229.
107. АЕЕ. *Gid privind evaluarea economică a proiectelor din domeniile eficienței energetice și energiilor regenerabile*. Chișinău: Sirius, 2014. 204 p.
108. Radcenco V. *Termodinamica Tehnică și mașini termice*. București: Editura Didactică și Pedagogică, 1976.330 p.
109. Kotas T. *The exergy method of thermal plant analysis*. Florida: KPC, 1995. 176 p.
110. Гусев Ю. *Основы проектирования котельных установок*. Москва: Стройиздат, 1973. 248 с.
111. *Arderea combustibililor*. <http://www.termo.utcluj.ro/termo/06ardere.pdf> (vizitat pe 09.02.2016)
112. Козак Ф. *Расчеты теплоемкостей и характеристик газовых смесей*. Киев:УМК, 1989. 86 с.
113. Dănilă N. ș.a. *Analiza termodinamică a schemelor centralelor electrice*. București: Editura “Informatica”, 1967. 408 p.
114. Сиделковский Л. Фальков Э. *Эксергетические балансы огнетехнических процессов*. Москва: МЭИ, 1967. 55 с.
115. Stanciu I. *Contribuții la reducerea costului de producere a aburului energetic*. Autoreferatul tezei de doctor în tehnică. Galați, 2008. 48 p.
116. Ривкин С.Л. *Термодинамические свойства газов*. 4-е изд., перераб. Москва: Энергоатомиздат, 1987. 288 с.
117. *Normativ privind întocmirea și analiza bilanșurilor energetice*, ICEMENERG, București, 1995 – reeditat.
118. Гинзбург А.С. и др. *Теплофизические характеристики пищевых продуктов*. Справочник. Москва, 1980. 288 с.
119. Ștefănescu D., Leca A. *Transfer de căldură și masă*. București: Editura didactică și pedagogică, 1983.
120. *Хлебопечкарные печи*. <http://www.j4.cz/ru/oborudovanie/typy-pechei/ciklotermicheskiePechi> (vizitat 3.01.2014).
121. *Паспорт на природный газ, поставляемый по газопроводу ШДКРИ ЗА 05.12.2012 Г. SRL „Moldovatrangaz”*. Chișinău, 2012.

122. *Тепловой расчет котлов* (Нормативный метод). изд. 3-е. Санкт-Петербург, 1998. 256 с.
123. Володарский А. и.д. *Современные тоннельные печи в хлебопекарной промышленности*. Москва: Пищевая Промышленность, 1976. 133 с.
124. Popa V. *Manualul inginerului termotehnician*. Vol.1. București: Editura Tehnică, 1986, 695 p.
125. Газопоршневая электростанция FG Wilson. http://www.cogeneration.ru/fg-wilson/perkins-scania/fg_wilson_pg475b.html (vizitat 10.01.2016).
126. Моноблок ГВС. <http://www.graduz.ru/funke/2013-06-13-06-09-28/2013-06-13-06-11-31/102-2013-06-13-05-39-33> (vizitat pe 11.02.16)
127. Кузнецов Н. В. и. д. *Тепловой расчет котельных агрегатов*. Москва: Энергия, 1973.
128. Guțu A. Indicații metodice. *Proectarea unui cazan de tip DE*. Chișinău: U.T.M, 2008.
129. Arion V, Hlusuov V, Gherman C. *Ghid privind evaluarea economică a proiectelor din domeniile eficienței energetice și energiilor regenerabile*. Chișinău: Tipografia Sirius, 2014. 204 p.
130. Arion V., Hlusuov V., Gherman C., Svet O, *Culegere de probleme la disciplina Economia Energeticii, Partea I - Aspecte generale ale calculelor tehnico-economice și economico-financiare*, Chișinău, Editura „Tehnica-UTM” 2013, 8 c.t.
131. Short W., Packey D., Hol T. *A Manual for economic evaluation of Energy Efficiency and Renewable Energy Technologies*, National Renewable Energy Laboratory, Colorado, 1995. 120 p.
132. Chan P. *Contemporary Engineering Economics*. Fourth Edition. Cloth: Prentice Hall, 2007. 928 p.
133. Непомнящий Г. *Инвестиционное проектирование*. Учебное пособие. Таганрог, 2003. 262 с.
134. Arion V., Apreutesii V. *Economia energeticii*. Note de curs. Chișinău: UTM, 2006. 138 p.
135. Gherman C. *Modelarea surselor de energii regenerabile și determinarea costurilor nivelate și a tarifelor*. Teză de dr.în științe tehnice. Chișinău, 2014. 163 p
136. Arion V, Hlusuov V, Gherman C. *Bazele calculelor tehnico-economice și economico-financiare: Note de curs*. Chișinău: Tehnica-UTM, 2016. 168p.
137. Banca Națională a Moldovei. <http://www.bnm.org/> (vizitat pe 13.04.2016)
138. Raport privind activitatea Agenției Naționale pentru Reglementare în Energetică în anul 2014. Raport anual. <http://www.anre.md/ro/reports/8> (vizitat pe 12.04.2016)
139. Arion V., Borosan C., Negură C. *Evoluția costurilor și tarifelor la energie și resurse energetice în Republica Moldova pe termen mediu și lung*. Conf. Jubiliară tehn-șt. a colabor. UTM, Vol.1, 2014, p. 335-339.
140. Что лучше, надежнее, экономичнее для автономной электростанции: газопоршневые или газотурбинные силовые агрегаты? http://www.manbw.ru/analytics/which_is_better_gas_piston_or_gas_turbine_power_units.html (vizitat pe 13.04.2016)
141. Gudkov S., Lebedeva E. *Cogeneration, the use of cogeneration*. <http://www.rae.ru/forum2012/pdf/2930.pdf> (vizitat pe 13.04.2016)
142. Modificarea tarifelor la gazele naturale 2016. <http://anre.md/files/Acte%20Normative/tarife%20gaze%202016/Tarife%20gaze%2026%20ianuarie%202016%20pentru%20site.pdf> (vizitat pe 12.04.2016)
143. Газопоршневая электростанция FG Wilson <http://pro39.pro/shop/generatory-i-kompressory/generatory/generatori-fgwilson/stacionarnye/gazovye/gazoporshnevaja-yelektrostancija-fg-wils.html> (vizitat 12.04.2016)
144. Моторные масла для газовых двигателей <http://motor-tools.ru/maslo-dlya-gazovyh-dvigateliy/> (vizitat 12.04.2016)

145. Hotărâre privind tarifele la energia electrică. Nr. 153/2015 din 18.07.2015. Publicat: 31.07.2015 în Monitorul oficial al Republicii Moldova nr. 197-205/1344
146. Arion V., Gherman C., Arseni I. *Evaluarea economică a tehnologiilor ORC și MAI de producere a energiei din biomasă solidă*. În: lucrările conferinței internaționale “Energy of Moldova 2012. Regional aspects of development”, 2012. p. 425-432.
147. *Газопоршневые и газотурбинные электростанции – что выбрать?*
<http://energetiku.jimdo.com/> (vizitat pe 13.04.2016)
148. *Surse de producere a energiei într-un contur urban. Soluții de creștere a eficienței energetice*.
<http://apps.upm.ro/cip/docm/m19.pdf> (vizitat pe 13.04.2016)
149. Chetrușca-Guțu C., Chelmenciuc C., Tverdohleb A. *Eficiența energetică în Republica Moldova. Stare și perspective*. În: Știință și Inginerie, 2013, vol. 23, p. 275-280.
150. Chelmenciuc C., Chetrușca-Guțu C., Tverdohleb A. *Eficiența energetică în economia națională a Republicii Moldova*. În: Culegere de lucrări științifice a conferinței internaționale “Energie, Eficiență, Ecologie și Educație”, Chișinău 2013, p. 153-156.
151. Chelmenciuc C. *The thermodynamic benefits of the integration of cogeneration installations in bakery ovens*. În: Culegere de lucrări științifice în cadrul Conferinței Internaționale SIELMEN, Chișinău 2015, p. 564 – 567.
152. Chelmenciuc C. *Reducerea ireversibilității proceselor cu gaze de ardere în cuptoare de tip tunel*, Buletinul AGIR, Volumul 3, București 2015, pag 155-159.
153. Chelmenciuc C. *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.

A1. Calculul mărimilor necesare pentru estimarea pierderilor de exergie în procesul cu gaze din MAI

Date inițiale:

- Raportul de comprimare al MAI (din tab. 3.3): $\varepsilon = 9,5$;
- Temperatura mediului ambiant $T_{ma} = 297 \text{ K}$;
- Densitatea aerului din mediul ambiant: $\rho_{ma} = 1,21 \text{ kg/m}^3$;
- Coeficienții pierderilor relative de presiune în organele de distribuție ale motorului:
- $\psi_a = \psi_e = 0,14$;
- Coeficientul excesului de aer: $\alpha = 1,5$;
- Exponentul adiabatic mediu al agentului: $k = 1,3$;
- Constanta agentului termic: $R = 287 \text{ J/(kg}\cdot\text{K)}$;
- Volumul minim de aer necesar arderii combustibilului: $V_{aer}^0 = 9,76 \text{ m}^3 / \text{m}^3$.

Sucesiunea calculelor [109]:

- Coeficientul global de pierderi de presiune:

$$\psi = (1 - \psi_a)(1 - \psi_e) = (1 - 0,14)(1 - 0,14) = 0,74.$$
- Coeficientul de umplere (raportul dintre cantitatea de amestec carburant introdusă în cilindru și cea care ar fi putut pătrunde în volumul cursei pistonului la parametrii mediului ambiant):

$$\eta_v = (1 - \psi_a) \left\{ \left[\varepsilon - (1/\psi)^{1/k} \right] / (\varepsilon - 1) \right\} = (1 - 0,14) \left\{ \left[9,5 - (1/0,74)^{1/1,3} \right] / (9,5 - 1) \right\} = 0,834.$$
- Căldura degajată prin arderea completă a combustibilului care revine unei unități de cilindree a motorului:

$$q_{ar} = \eta_v \cdot \left[\rho_{ma} / (1 + \alpha V_{aer}^0) \right] \cdot Q_i = 0,834 \cdot \left[1,21 / (1 + 1,5 \cdot 9,76) \right] \cdot 33,03 = 2,13 \text{ MJ} / \text{m}^3.$$
- Raportul de creștere a volumului la arderea izobară:

$$\lambda = 1 + \left[(k - 1)(\varepsilon - 1) / p_c \right] \cdot q_{ar} = 1 + \left[(1,3 - 1)(9,5 - 1) / (15,83 \cdot 10^5) \right] \cdot 2,13 \cdot 10^6 = 4,43$$

$$p_c = p_{ma} (1 - \psi_a) \varepsilon^k = 98642 (1 - 0,14) \cdot 9,5^{1,3} = 15,83 \cdot 10^5 \text{ Pa}.$$
- Temperatura de admisie poate fi calculată rezolvând următoarea expresie:

$$\frac{T_a}{T_{ma}} = \frac{\varepsilon - (1/(\psi\lambda))^{1/k}}{\varepsilon - (1/\psi)^{1/k}} = \frac{9,5 - (1/(0,74 \cdot 4,43))^{1/1,3}}{9,5 - (1/0,74)^{1/1,3}} = 1,1 \Rightarrow T_a = 1,1 \cdot T_{ma} = 1,1 \cdot 297 = 326,7 \text{ K}$$
- Temperatura gazelor reziduale:

$$\frac{T_r}{T_a} = \frac{(\psi\lambda)^{1/k}}{\psi} = \frac{(0,74 \cdot 4,43)^{1/1,3}}{0,74} = 3,37 \Rightarrow T_r = 3,37 \cdot T_a = 3,37 \cdot 326,7 = 1101 \text{ K}$$

- Coeficientul gazelor arse reziduale:

$$\gamma_r = 1 / (\varepsilon\lambda^{1/k} - 1) = 1 / (9,5 \cdot 4,43^{1/1,3} - 1) = 0,0347.$$

- Temperatura de evacuare a agentului de lucru poate fi calculată rezolvând următoarea expresie:

$$\frac{T_{ev}}{T_{ma}} = \frac{1}{k} \cdot \frac{\lambda + \frac{1}{\psi} \left(k \frac{\varepsilon - 1}{\varepsilon} - 1 \right)}{1 - \frac{1}{\varepsilon} (1/\psi)^{1/k}} = \frac{1}{1,3} \cdot \frac{4,43 + \frac{1}{0,74} \left(1,3 \frac{9,5 - 1}{9,5} - 1 \right)^{1/1,3}}{1 - \frac{1}{9,5} (1/0,74)^{1/1,3}} = 4,12 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow T_{ev} = 4,12 \cdot T_{ma} = 4,12 \cdot 297 = 1224 \text{ K}$$

- Temperatura gazelor rămase în cilindrul motorului la sfârșitul etapei de evacuare a agentului de lucru din motor:

$$\frac{T_{d'}}{T_d} = \frac{T_a}{T_d} \cdot \frac{T_r}{T_a} = \frac{326,7}{1447,3} \cdot \frac{1101}{326,7} = 0,760 \Rightarrow T_{d'} = 0,760 \cdot T_d = 0,760 \cdot 1447,3 = 1101 \text{ K}.$$

$$\frac{T_d}{T_a} = \lambda = 4,43 \Rightarrow T_d = T_a \cdot \lambda = 326,7 \cdot 4,43 = 1447,3 \text{ K}.$$

Valorile mărimilor calculate în anexa respectivă vor fi utilizate pentru calcularea pierderilor în MAI cauzate de ireversibilitatea internă și externă ale proceselor care decurg în acesta.

A2. Calculul fluxului de căldură pierdut prin pereții exteriori ai cuptorului

Fluxul termic pierdut prin pereți cuptorului în mediul ambiant poate fi calculat cu relația:

$$Q_5 = Q_c + Q_r, \text{ W} \quad (\text{A2.1})$$

unde: Q_c - fluxul termic cedat prin convecție, în W;

Q_r - fluxul termic cedat prin radiație, în W.

Fluxul termic cedat prin convecție va fi calculat cu astfel:

$$Q_c = \alpha \cdot S \cdot (t_p - t_{aer}), \text{ W} \quad (\text{A2.2})$$

unde: α este coeficientul de convecție termică de la suprafața peretelui exterior către aerul din încăpere, în $W/(m^2 \cdot K)$;

S - aria suprafeței exterioare a cuptorului calculată după dimensiunile cuptorului din tab. 3.1, în m^2 ;

t_p - temperatura pereților exteriori ai cuptorului, din tab. 3.1, în $^{\circ}C$;

t_{aer} - temperatura aerului din secția de producere, din tab. 3.1, în $^{\circ}C$.

Coeficientul de convecție termică va fi determinat cu relația:

$$\alpha = (Nu \cdot \lambda) / h, \frac{W}{m^2 \cdot K}; \quad (\text{A2.3})$$

unde: Nu este criteriul de similitudine Nusselt;

λ - conductivitatea termică a aerului, în $W/(m \cdot K)$, se ia din [120] în funcție de temperatura medie - $t_m = (t_p + t_{aer}) / 2 = (35 + 24) / 2 = 29,5 \text{ }^{\circ}C$;

h - dimensiunea caracteristică a cuptorului, în m .

Dat fiind faptul că cuptorul are o formă exterioară regulată, determinată de suprafețe plane orizontale și verticale, pierderile de căldură prin convecția liberă vor fi calculate aparte pentru ambele tipuri de suprafețe.

Fluxul termic cedat prin radiație va fi calculat cu relația:

$$Q_r = \varepsilon \cdot c_o \cdot S \cdot \left[(0,01 \cdot T_p)^4 - (0,01 \cdot T_{aer})^4 \right], \text{ W} \quad (\text{A2.4})$$

unde: $c_o = 5,67 \text{ W}/(m^2 \cdot K^4)$ este constanta lui Boltzman;

$\varepsilon = 0,9$ - coeficient de emisivitate al materialului din care este executată suprafața exterioară a cuptorului.

a) Calculul transferului de căldură convectiv la suprafețele orizontale ale cuptorului

Aerul spală liber suprafața cuptorului. Deci, transferul de căldură va avea loc prin convecție liberă. Dimensiunea caracteristică, în acest caz, va fi egală cu lungimea cuptorului $h=L=20,6 \text{ m}$ (tab. 3.1).

Cu ajutorul criteriului Grasshoff se determină regimul de curgere al aerului pe suprafața plană a cuptorului:

$$Gr = \left[(g \cdot h^3) / \nu^2 \right] \left[(1/T_a) \cdot (t_p - t_a) \right] = \left[(9,81 \cdot 20,6^3) / (1,6 \cdot 10^{-5})^2 \right] \left[(1/297) \cdot (35 - 24) \right] = 1,25 \cdot 10^{13} \quad (\text{A2.5})$$

unde: g este accelerația căderii libere, în m/s^2 ;

$\nu = 1,6 \cdot 10^{-5} m^2/s$ - viscozitatea cinematică a aerului, se ia din [120] în funcție de temperatura medie t_m .

Pentru valori ale criteriului Grasshoff mai mari de 10^9 , regimul de curgere al fluidului se consideră turbulent.

Pentru convecția liberă, în regim de curgere turbulentă a aerului, criteriul de similitudine Nusselt se determină cu ajutorul următoarei relații de calcul, [120]:

$$Nu = 0,15 (Gr \cdot Pr)^{0,33} = 0,15 \cdot (1,25 \cdot 10^{13} \cdot 0,7)^{0,33} = 2798,7 \quad (\text{A2.6})$$

în care $Pr = 0,7$ este criteriul de similitudine Prandtl, se ia din [120] în funcție de temperatura medie t_m .

Coeficientul de transfer de căldură prin convecție liberă se va calcula conform relației (A2.3):

$$\alpha = (Nu \cdot \lambda) / h = (2798,7 \cdot 2,67 \cdot 10^{-2}) / 20,6 = 3,63 \text{ W} / (m^2 \cdot K).$$

Astfel, fluxul termic cedat prin convecție, conform relației (A2.2), va fi egal cu:

$$Q_c^o = \alpha \cdot S \cdot (t_p - t_{aer}) = 3,63 \cdot 2 \cdot 20,6 \cdot 3 \cdot (35 - 24) = 4935,3 \text{ W}.$$

(A2.7)

b) Calculul transferului de căldură convectiv la suprafețele verticale ale cuptorului

Aerul spală liber suprafața cuptorului. Deci, transferul de căldură va avea loc prin convecție liberă. Dimensiunea caracteristică, în acest caz, va fi egală cu înălțimea cuptorului $h = 3,05 \text{ m}$.

Cu ajutorul criteriului Grasshoff poate fi determinat regimul de curgere al aerului pe suprafața plană a cuptorului:

$$Gr = \left[(g \cdot h^3) / \nu^2 \right] \left[(1/T_a) \cdot (t_p - t_a) \right] = \left[(9,81 \cdot 3,05^3) / (1,6 \cdot 10^{-5})^2 \right] \left[(1/297) \cdot (35 - 24) \right] = 4,07 \cdot 10^{10} \quad (\text{A2.8})$$

Pentru convecția liberă, în regim de curgere turbulentă a aerului, criteriul de similitudine Nusselt se determină cu ajutorul relației de calcul:

$$Nu = 0,15 (Gr \cdot Pr)^{0,33} = 0,15 \cdot (4,07 \cdot 10^{10} \cdot 0,7)^{0,33} = 422,8. \quad (\text{A2.9})$$

Coeficientul de transfer de căldură prin convecție liberă se va calcula conform relației (A2.3):

$$\alpha = (Nu \cdot \lambda) / h = (422,8 \cdot 2,67 \cdot 10^{-2}) / 3,05 = 3,7 \text{ W} / (m^2 \cdot K).$$

Fluxul termic cedat prin convecție, conform relației (A2.2), va fi egal cu:

$$Q_c^v = \alpha \cdot S \cdot (t_p - t_a) = 3,7 \cdot 3,05 \cdot 2 \cdot 20,6 \cdot (35 - 24) = 5114,4 \text{ W}.$$

Astfel, fluxul termic total, cedat prin convecție de către pereții cuptorului, aerului din încăpere:

$$Q_c = Q_c^o + Q_c^v = 4953,3 + 5114,4 = 10067,7 \text{ W.} \quad (\text{A2.10})$$

c) Calculul pierderilor de căldură prin radiație

Fluxul de căldură cedat prin radiație termică de la suprafața exterioară a cuptorului în mediul ambiant poate fi calculat conform relației (A.2.4):

$$Q_r = \varepsilon \cdot c_o \cdot S \cdot \left[(0,01 \cdot T_p)^4 - (0,01 \cdot T_a)^4 \right] = 0,9 \cdot 5,67 \cdot 249,26 \cdot \left[(0,01 \cdot 308)^4 - (0,01 \cdot 297)^4 \right] = 15516 \text{ W,}$$

unde $S = S_p^v + S_p^o = 2 \cdot 3,05 \cdot 20,6 + 2 \cdot 20,6 \cdot 3 = 249,26 \text{ m}^2$.

Deci, fluxul termic total cedat prin carcasa cuptorului aerului din secția de producere, conform relației (A2.1), va fi egal cu:

$$Q_s = Q_c + Q_r = 10067,7 + 15516 = 25583,7 \text{ W} \approx 25,6 \text{ kW.}$$

ANEXA 3. Cartea de regim a arzătorului cuptorului PPP3.5 4.211

Denumirea parametrului	Unități	Punctele de verificare a arzătorului				
		1	2	3	4	5
Sarcina de funcționare	%	23	34	50	75	100
Sarcina termică a cuptorului	<i>kW</i>	67	114	170	264	369
Puterea termică a arzătorului	<i>kW</i>	102	155	227	341	455
Consumul de gaze	<i>m³/h</i>	11,0	16,6	24,4	36,5	48,7
Presiunea gazelor după supapa arzătorului	<i>mbar</i>	11,0	11,0	11,0	11,0	11,0
Temperatura în camera de coacere	<i>°C</i>	180-250	180-250	180-250	180-250	180-250
Temperatura aerului în hala brutăriei	<i>°C</i>	24	24	24	24	24
Concentrația O ₂ în gazele de ardere	%	17,9	16,8	16,5	15,8	14,4
Concentrația CO în gazele de ardere	<i>ppm</i>	6	6	4	4	2
Concentrația NO în gazele de ardere	<i>ppm</i>	5	5	6	6	7
Concentrația NO ₂ în gazele de ardere	<i>ppm</i>	1	1	1	1	0
Concentrația CO ₂ în gazele de ardere	%	1,7	2,1	2,5	3,1	3,6
Coeficientul de exces de aer la coș	-	6,97	5,6	4,6	3,73	3,22
Coeficientul de exces de aer la arzător	-	1,33	1,23	1,20	1,14	1,10
Randamentul net	%	65,5	73,6	74,7	77,5	81,3

A4. Calculul procesului de ardere a gazelor naturale în focarul cuptorului

A4.1. Calculul componentelor amestecului de gaze de ardere

Calculul volumelor componentelor gazelor de ardere obținute în urma arderii gazelor naturale se va face utilizând datele despre compoziția acestora, prezentate în tab. 3.2.

Volumul minim teoretic de aer necesar arderii 1 m³ de gaze naturale va fi:

$$\begin{aligned} V_{aer}^o &= 0,0476 \left[0,5CO + 0,5H_2 + 1,5H_2S + \sum \left(m + \frac{n}{4} \right) C_m H_n - O_2 \right] = \\ &= 0,0476 \left[0,5 \cdot 0 + 0,5 \cdot 0 + 1,5 \cdot 0 + \left(1 + \frac{4}{4} \right) \cdot 97,102 + \left(2 + \frac{6}{2} \right) \cdot 1,438 + \left(3 + \frac{8}{4} \right) \cdot 0,460 + \right. \\ &\quad \left. + \left(4 + \frac{10}{4} \right) \cdot 0,151 + \left(5 + \frac{12}{4} \right) \cdot 0,027 + \left(6 + \frac{14}{4} \right) \cdot 0,009 - 0 \right] = 9,76 \text{ m}^3 / \text{m}^3. \end{aligned}$$

Volumul gazelor triatomice, rezultate în urma arderii unei unități de combustibil:

$$\begin{aligned} V_{RO_2} &= 0,01 \left[CO_2 + CO + H_2S + \sum m C_m H_n \right] = 0,01 \left[0,091 + 1 \cdot 97,102 + 2 \cdot 1,438 + \right. \\ &\quad \left. 3 \cdot 0,460 + 4 \cdot 0,151 + 5 \cdot 0,027 + \left(6 + \frac{14}{4} \right) \cdot 0,009 \right] = 1,02 \text{ m}^3 / \text{m}^3. \end{aligned}$$

Volumul vaporilor de apă, rezultați în urma arderii 1 m³ de gaze naturale:

$$\begin{aligned} V_{H_2O} &= 0,01 \left[H_2S + H_2 + \sum \frac{n}{2} C_m H_n \right] + 0,0161 V_{aer}^o = 0,01 \left[0 + 0 + \frac{4}{2} \cdot 97,102 + \frac{6}{2} \cdot 1,438 + \right. \\ &\quad \left. + \frac{8}{2} \cdot 0,460 + \frac{10}{2} \cdot 0,151 + \frac{12}{2} \cdot 0,027 + \frac{14}{2} \cdot 0,009 \right] + 0,0161 \cdot 9,76 = 2,17 \text{ m}^3 / \text{m}^3, \end{aligned}$$

iar volumul teoretic al gazelor biatomice se va determina cu relația:

$$V_{R_2} = 0,79 V_{aer}^o + 0,01 N_2 = 0,79 \cdot 9,76 + 0,01 \cdot 0,722 = 7,78 \text{ m}^3 / \text{m}^3.$$

Entalpia gazelor recirculate în camera de amestec va fi:

$$\begin{aligned} h_g^{268^\circ C} &= t_{g.ev} \left[V_{RO_2} \cdot c_{CO_2} + V_{R_2} \cdot c_{N_2} + V_{H_2O} + (\alpha - 1) \cdot V_{aer}^o \cdot c_a \right] = \\ &= 268 \left[1,02 \cdot 1,843 + 7,78 \cdot 1,305 + 2,17 \cdot 1,535 + (1,3 - 1) \cdot 9,76 \cdot 1,313 \right] = 5146 \text{ kJ} / \text{m}^3. \end{aligned}$$

Entalpia gazelor la intrare în camera de coacere:

$$\begin{aligned} h_g^{450^\circ C} &= t_{gc} \left[V_{RO_2} \cdot c_{CO_2} + V_{R_2} \cdot c_{N_2} + V_{H_2O} + (\alpha - 1) \cdot V_{aer}^o \cdot c_a \right] = \\ &= 450 \left[1,02 \cdot 1,964 + 7,78 \cdot 1,322 + 2,17 \cdot 1,576 + (1,1 - 1) \cdot 9,76 \cdot 1,335 \right] = 8237 \text{ kJ} / \text{m}^3. \end{aligned}$$

A4.2. Metodologia de calcul a temperaturii gazelor în camera de ardere a cuptorului

Deoarece pereții camerei de ardere a cuptorului au o grosime considerabilă, ceea ce face imposibilă determinarea temperaturii gazelor în camera de ardere, temperatura acestora va fi determinată teoretic.

Temperatura de ardere a gazului natural poate primi valori în intervalul 800 – 2000 °C. Entalpia gazelor de ardere corespunzătoare celor două valori extreme ale temperaturii acestora vor fi calculate cu relația:

$$h_g = t_g \cdot [V_{RO_2} \cdot c_{CO_2} + V_{R_2} \cdot c_{N_2} + V_{H_2O} \cdot c_{H_2O} + (\alpha - 1) \cdot V_{aer}^0 \cdot c_a], \text{ kJ/m}^3$$

unde: t_g este temperatura gazelor de ardere, în °C;

α - coeficientul de exces de aer la arzător;

c_i - capacitățile termice volumice ale gazelor respective [128], în $\text{kJ}/(\text{m}^3 \cdot \text{K})$.

Entalpia gazelor în camera de ardere, la temperatura $t_{ga} = 2000$ °C, va fi:

$$\begin{aligned} h_g^{2000^\circ\text{C}} &= t_g \cdot [V_{RO_2} \cdot c_{CO_2} + V_{R_2} \cdot c_{N_2} + V_{H_2O} \cdot c_{H_2O} + (\alpha - 1) \cdot V_{aer}^0 \cdot c_a] = \\ &= 2000 \cdot [1,02 \cdot 2,423 + 7,78 \cdot 1,484 + 2,17 \cdot 1,964 + (1,17 - 1) \cdot 9,76 \cdot 1,534] = 41660 \text{ kJ/m}^3, \end{aligned}$$

iar entalpia gazelor în camera de ardere, la temperatura $t_{ga} = 800$ °C:

$$\begin{aligned} h_g^{800^\circ\text{C}} &= t_g \cdot [V_{RO_2} \cdot c_{CO_2} + V_{R_2} \cdot c_{N_2} + V_{H_2O} \cdot c_{H_2O} + (\alpha - 1) \cdot V_{aer}^0 \cdot c_a] = \\ &= 800 \cdot [1,02 \cdot 2,132 + 7,78 \cdot 1,368 + 2,17 \cdot 1,669 + (1,17 - 1) \cdot 9,76 \cdot 1,412] = 15024 \text{ kJ/m}^3. \end{aligned}$$

După valorile obținute ale entalpiei va fi prezentată diagrama h-t a produselor arderii (fig. A1), care ulterior va fi folosită pentru determinarea temperaturii gazelor în camera de ardere.

Cantitatea de căldură degajată în focar la arderea unui m^3 de gaz natural, [129]:

$$Q_f = Q_i^l \cdot [(100 - q_3) / 100] + h_a = 33030 \cdot [(100 - 1,5) / 100] + 370,55 = 32905 \text{ kJ/m}^3,$$

unde: q_3 este pierderea de căldură cu arderea chimic incompletă, din [11], în funcție de tipul combustibilului ars;

h_a entalpia aerului introdus în focar; calculată cu relația:

$$h_a = \alpha_a \cdot V_{aer}^0 \cdot c_a \cdot t_a = 1,17 \cdot 9,76 \cdot 1,298 \cdot 25 = 370,55 \text{ kJ/m}^3.$$

Din diagrama h - t (fig. A4.1) după valoarea Q_f se găsește valoarea temperaturii gazelor în camera de ardere $t_{ca} = 1630$ °C.

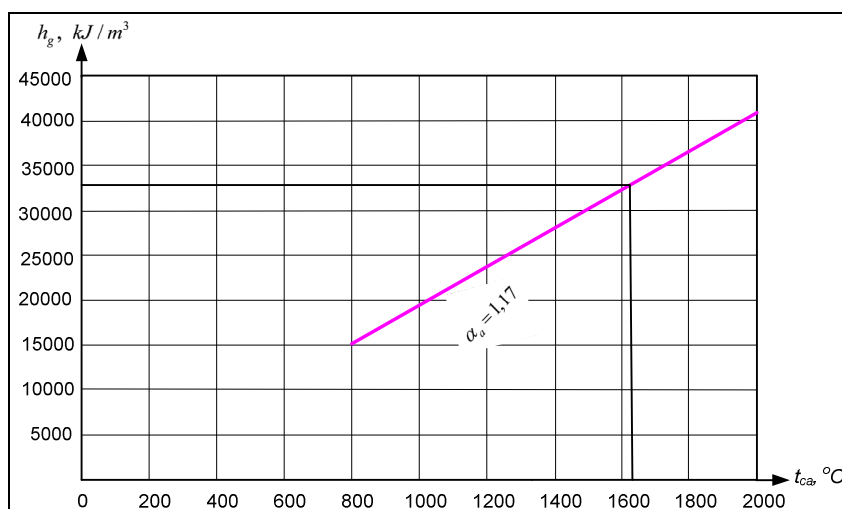


Fig. A4.1. Diagrama h-t a gazelor de ardere

A5. Calculul componentelor bilanțului energetic și exergetic pentru sistemul de producere a gazelor în cuptorul clasic

A5.1. Calculul componentelor bilanțului energetic

Vor fi calculate succesiv valorile tuturor fluxurilor de energii introduse și evacuate din conturul delimitat în figura 2.6, prin intermediul relațiilor (2.4) – (2.7).

Fluxul de căldură introdus cu combustibilul în arzătorul cuptorului va fi:

$$Q^{g.n} = Q_{ch}^{g.n.} + Q_s^{g.n.} = B(Q_i + c_p^{g.n.} \cdot t_{g.n}) = 0,014(33030 + 1,676 \cdot 15) = 463 \text{ kW}.$$

Căldura fizică a aerului introdus pentru ardere va primi valoarea:

$$Q^{aer} = B \cdot V_{aer}^0 \cdot \alpha \cdot c_p^a \cdot t_{aer} = 0,014 \cdot 9,76 \cdot 1,1 \cdot 1,31 \cdot 24 = 4,7 \text{ kW}.$$

În cadrul conturului analizat energia electrică este consumată pentru antrenarea ventilatorului pentru introducerea aerului necesar arderii și ventilatorului pentru circulația gazelor de ardere. În pașaportul tehnic al cuptorului PPP 3 54.211 ST este indicată puterea electrică a acestor echipamente – $E^{ee} = 9 \text{ kW}$.

Fluxul de căldură introdus cu gazele recirculate în camera de amestec va constitui:

$$Q^{g.r.} = \dot{V}_g^r \cdot c_p^g \cdot t_{g.ev} = 1,19 \cdot 1,081 \cdot 268 = 345 \text{ kW}.$$

Fluxul de căldură evacuat cu gazele din camera de amestec:

$$Q^{g.ev.} = \dot{V}_g^t \cdot c_p^g \cdot t_{gc} = 1,36 \cdot 1,106 \cdot 450 = 677 \text{ kW}.$$

A5.2. Calculul componentelor bilanțului exergetic

Vor fi calculate succesiv valorile tuturor fluxurilor de exergii introduse și evacuate din conturul delimitat în figura 2.8, prin intermediul relațiilor (2.14) – (2.21).

Fluxul de exergie introdus cu combustibilul va primi valoarea:

$$E_x^{g.n} = \left(1,0334 + 0,0183 \frac{H}{C} - 0,0694 \frac{1}{C} \right) Q_i \cdot B = \\ = \left(1,0334 + 0,0183 \frac{54}{22} - 0,0694 \frac{1}{22} \right) \cdot 33030 \cdot 0,014 = 497 \text{ kW}.$$

Exergia aerului introdus pentru ardere este nulă în cazul când aerul nu este încălzit înainte de a fi introdus în camera de ardere. Aerul necesar arderii combustibilului în camera de ardere este preluat direct din hala brutării, nefiind preîncălzit preventiv. Deci, în cazul dat $E_x^{aer} = 0$.

Fluxul de exergie introdus cu energia electrică consumată este egal cu puterea utilajelor electrice: $E_x^{e.e} = E^{e.e} = 9 \text{ kW}$.

Fluxul de exergie introdus cu gazele de ardere recirculate va constitui:

$$E_x^{g,r} = e_x \cdot \dot{V}_g^r = 113,4 \cdot 1,19 = 135 \text{ kW}.$$

Exergia volumică a gazelor de ardere, constituită din cele 3 componente: termică, chimică și mecanică, va fi egală cu:

$$e_x = e_x^t + e_x^{ch} + e_x^p = 95,5 + 10,24 + 7,68 = 113,4 \text{ kJ / m}^3.$$

Componenta termică a exergiei gazelor de ardere, ținând cont de temperatura gazelor recirculate în camera de amestec $T_g = 268 + 273 = 541 \text{ K}$, va primi valoarea:

$$e_x^t = c_p' \left[(T_g - T_{ma}) - T_{ma} \cdot \ln \frac{T_g}{T_{ma}} \right] = 1,448 \left[(541 - 297) - 297 \cdot \ln \frac{541}{297} \right] = 95,5 \text{ kJ / m}^3.$$

Gazele de ardere utilizate în calitate de agent termic în instalația de panificație sunt constituite, în special, din gaze biatomice precum N_2 și O_2 , gaze triatomice precum CO_2 și *vapori de apă*. Astfel, componenta chimică a exergiei gazelor de ardere va primi forma:

$$\begin{aligned} e_x^{ch} &= R \cdot T_{ma} \left[n_{N_2} \cdot \ln \frac{n_{N_2}}{0,7898} + n_{O_2} \cdot \ln \frac{n_{O_2}}{0,2099} + n_{CO_2} \cdot \ln \frac{n_{CO_2}}{0,0003} + n_{H_2O} \cdot \ln \frac{n_{H_2O}}{X_0} + \ln(1 + X_0) \right] = \\ &= 0,371 \cdot 297 \left[0,408 \cdot \ln \frac{0,408}{0,7898} + 0,09 \cdot \ln \frac{0,09}{0,2099} + 0,045 \cdot \ln \frac{0,045}{0,0003} + 0,096 \cdot \ln \frac{0,096}{0,01145} + \right. \\ &\quad \left. + \ln(1 + 0,01145) \right] = 10,24 \text{ kJ / m}^3. \end{aligned}$$

Cantitățile de substanță a fiecărui component al gazelor de ardere, conform metodologiei expuse în [116], vor constitui:

$$\begin{aligned} n_{N_2} &= \frac{0,79 \cdot \alpha \cdot V_{aer}^0}{22,41} + \frac{V_{R_2}}{22,41} = \frac{0,79 \cdot 1,1 \cdot 9,76}{22,41} + \frac{7,78}{22,41} = 0,408 \text{ kmol / m}^3; \\ n_{CO_2} &= \frac{V_{RO_2}}{22,41} = \frac{1,02}{22,41} = 0,045 \text{ kmol / m}^3; \\ n_{H_2O} &= \frac{0,79 \cdot \alpha \cdot V_{aer}^0}{22,41} + \frac{V_{H_2O}}{22,41} = \frac{0,79 \cdot 1,1 \cdot 9,76}{22,41} + \frac{2,17}{22,41} = 0,096 \text{ kmol / m}^3; \\ n_{O_2} &= \frac{0,21 \cdot (\alpha - 1) V_{aer}^0}{22,41} = \frac{0,21 \cdot (1,1 - 1) \cdot 9,76}{22,41} = 0,09 \text{ kmol / m}^3. \end{aligned}$$

Deoarece presiunea gazelor în canalele cuptorului este $p = 110000 \text{ Pa}$, iar presiunea aerului din mediului ambiant $p_{ma} = 98642 \text{ Pa}$, componenta mecanică a exergiei gazelor va primi valoarea:

$$e_x^p = n \cdot R \cdot T_{ma} \cdot \ln \frac{p}{p_{ma}} = 0,639 \cdot 0,3712 \cdot 297 \cdot \ln \frac{110000}{98642} = 7,68 \text{ kJ / m}^3,$$

în care $n = n_{CO_2} + n_{N_2} + n_{H_2O} + n_{O_2}$ reprezintă cantitatea totală de substanță a gazelor de ardere.

Fluxul de exergie evacuat cu gazele de ardere din camera de amestec, se va determina cu aceeași relație ca și în cazul exergiei gazelor recirculate:

$$E_x^{g,ev} = e_x \cdot \dot{V}_g^t = 257,2 \cdot 1,36 = 349,8 \text{ kW}.$$

Componenta termică a exergiei gazelor, ținând cont de temperatura gazelor la ieșire din camera de amestec $T_g = 450 + 273 = 723 \text{ K}$, va primi valoarea:

$$e_x^t = c_p' \left[(T_g - T_{ma}) - T_{ma} \cdot \ln(T_g / T_{ma}) \right] = 1,468 \left[(723 - 297) - 297 \cdot \ln(723 / 297) \right] = 239,3 \text{ kJ / m}^3.$$

Astfel, exergia volumică a gazelor de ardere va fi:

$$e_x = e_x^t + e_x^{ch} + e_x^p = 239,3 + 10,24 + 7,68 = 257,2 \text{ kJ / m}^3.$$

A5.3. Calculul pierderilor de exergie

Vor fi calculate succesiv valorile tuturor pierderilor de exergie din conturul delimitat în figura 2.8, prin intermediul relațiilor (2.28) – (2.33).

Pentru a putea calcula pierderile de exergie datorate ireversibilității procesului de ardere a combustibilului în camera de ardere a cuptorului este necesar de cunoscut fluxul de exergie evacuat cu gazele din camera de ardere:

$$E_x^{g.a} = e_x \cdot \dot{V}_{ga} = 1759 \cdot 0,17 = 299 \text{ kW}.$$

Componenta termică a exergiei gazelor de ardere, ținând cont de temperatura gazelor evacuate din camera de ardere (CA) $T_g = 1670 + 273 = 1943 \text{ K}$, va fi determinată astfel:

$$e_x^t = c_p' \left[(T_g - T_{ma}) - T_{ma} \cdot \ln(T_g / T_{ma}) \right] = 1,6 \left[(1943 - 297) - 297 \cdot \ln(1943 / 297) \right] = 1741 \text{ kJ / m}^3.$$

Metodologia de calcul a temperaturii gazelor la ieșire din CA este prezentată în Anexa 4.

Deoarece componentele mecanică și chimică a exergiei volumice a gazelor de ardere nu depind de temperatura acestora rezultă:

$$e_x = e_x^t + e_x^{ch} + e_x^p = 1741 + 10,24 + 7,68 = 1759 \text{ kJ / m}^3.$$

Pierderile cauzate de ireversibilitatea procesului de laminare a agentului de lucru la intrare în arzător și la evacuare din camera de amestec, vor primi valoarea:

$$\begin{aligned} P_x^{lam.in} = P_x^{lam.ev} &= \left[(1 + \alpha \cdot V_{aer}^0) R \cdot \rho \cdot T_{ma} \ln \left[1 / (1 - \psi_a) \right] \right] \cdot B = \\ &= \left[(1 + 1,1 \cdot 9,76) \cdot 287 \cdot 1,138 \cdot 297 \cdot \ln \left[1 / (1 - 0,06) \right] \right] \cdot 0,014 = 0,99 \text{ kW}. \end{aligned}$$

Astfel, pierderile de exergie provocate de arderea combustibilului vor fi:

$$P_x^{ard} = E_x^{g.n} + E_x^{aer} + E_x^{e.e.} - P_x^{lam.in} - E_x^{g.a} = 497 + 0 + 9 - 0,99 - 299 = 206 \text{ kW}.$$

Pierderile de exergie asociate procesului de amestecare a debitelor de gaze în camera de amestec a focarului cuptorului, pot fi determinate astfel:

$$P_x^{am} = T_{ma} \left[\dot{V}_g^r \cdot c_p^g \cdot \ln \frac{T_{am}}{T_{gr}} - \dot{V}_g^a \cdot c_p^g \cdot \ln \frac{T_{ga}}{T_{am}} \right] = 297 \left[1,19 \cdot 1,467 \cdot \frac{723}{541} - 0,17 \cdot 1,6 \cdot \ln \frac{1943}{723} \right] = 74,3 \text{ kW}$$

Astfel, pierderile de exergie în mediul ambiant, vor constitui:

$$P_x^{ma} = \sum_{i=1}^n P_{xi} - P_x^{ard} - P_x^{lam.in} - P_x^{am} - P_x^{lam.ev} = 291,2 - 206 - 0,99 - 74,3 - 0,99 = 8,9 \text{ kW}.$$

A6. Calculul componentelor bilanțului energetic și exergetic pentru sistemul de producere a gazelor în instalația de panificație de tip CogIntegr

A6.1. Calculul componentelor bilanțului energetic

Vor fi calculate succesiv valorile tuturor fluxurilor de energii introduse și evacuate din conturul delimitat în figura 2.7, prin intermediul relațiilor expuse în paragraful 2.2.

Fluxul de căldură introdus cu combustibilul în camera de ardere a MAI, va fi calculat ținând cont de consumul de gaze naturale ale acestuia (tabelul 3.3):

$$Q^{g.n} = B(Q_i + c_p^{g.n} \cdot t_{g.n}) = \frac{126,6}{3600}(33030 + 1,676 \cdot 15) = 1157 \text{ kW}.$$

Căldura fizică a aerului introdus pentru ardere va primi valoarea:

$$Q^{aer} = B \cdot V_{aer}^0 \cdot \alpha \cdot c_p^a \cdot t_{aer} = \frac{126,6}{3600} \cdot 9,76 \cdot 1,5 \cdot 1,31 \cdot 24 = 16 \text{ kW}.$$

Valoarea fluxului de căldură evacuat din MAI cu gazele eșapate este indicată în pașaportul tehnic al acestuia (tab. 3.3):

$$Q^{g.ev.} = 356 \text{ kW}.$$

Lucrul mecanic produs de MAI va fi egal cu:

$$L = \eta_e \cdot B \cdot Q_i = 0,327 \cdot 0,035 \cdot 33030 = 378 \text{ kW}.$$

Fluxul de căldură introdus cu apă de răcire a MAI va constitui:

$$Q_{apa}^{in} = \dot{m}_{apa} \cdot c_p^{apa} \cdot t_{apa} = 2,48 \cdot 4,19 \cdot 39 = 405 \text{ kW},$$

iar cel cu apa evacuată din MAI:

$$Q_{apa}^{ev} = \dot{m}_{apa} \cdot c_p^{apa} \cdot t_{apa}^{ev} = 2,48 \cdot 4,19 \cdot 70 = 727 \text{ kW}.$$

A6.2. Calculul componentelor bilanțului exergetic

Vor fi calculate succesiv valorile tuturor fluxurilor de exergii introduse și evacuate din conturul delimitat în figura 2.9, prin intermediul relațiilor expuse în paragraful 2.3.

Fluxul de exergie introdus cu combustibilul va primi valoarea:

$$\begin{aligned} E_x^{g.n} &= (1,0334 + 0,0183(H/C) - 0,0694(1/C)) Q_i \cdot B = \\ &= (1,0334 + 0,0183(54/22) - 0,0694(1/22)) \cdot 33030 \cdot 0,035 = 1248,7 \text{ kW}. \end{aligned}$$

Exergia aerului introdus pentru ardere în MAI este nulă $E_x^{aer} = 0$.

Exergia lucrului mecanic produs de MAI este egală cu valoarea lucrului mecanic produs:

$$E_x^l = L = 378 \text{ kW}.$$

Fluxul de exergie evacuat cu gazele de ardere din MAI va constitui:

$$E_x^{g.ev} = e_x \cdot \dot{V}_g = 277 \cdot (97,5/60) = 450 \text{ kW},$$

în care \dot{V}_g reprezintă debitul de gaze evacuate din MAI, prezentat în tabelul 3.3.

Deoarece componentele mecanică și cea chimică a exergiei volumice a gazelor de ardere nu depind de temperatura acestora, rezultă:

$$e_x = e_x^t + e_x^{ch} + e_x^p = 259 + 10,24 + 7,68 = 277 \text{ kJ / m}^3.$$

Componenta termică a exergiei gazelor de ardere, ținând cont de temperatura gazelor evacuate din MAI $T_g = 474 + 273 = 747 \text{ K}$, va fi egală cu:

$$e_x^t = c'_p \left[(T_g - T_{ma}) - T_{ma} \cdot \ln(T_g / T_{ma}) \right] = 1,468 \left[(747 - 297) - 297 \cdot \ln(747 / 297) \right] = 259 \text{ kJ / m}^3.$$

Fluxul de exergie introdus cu apa de răcire a MAI poate fi calculată cu ajutorul relației (2.25):

$$E_x^{apa.in} = e_x^{apa.in} \cdot \dot{m}_{ap\bar{a}} = 1,96 \cdot 2,48 = 4,9 \text{ kW}.$$

Exergia specifică a apei introduse în MAI va primi valoarea:

$$e_x^{apa.in} = h - h_{ma} - T_{ma} (s - s_{ma}) = 163,41 - 100,56 - 297 (0,5588 - 0,3530) = 1,96 \text{ kJ / kg}.$$

Fluxul de exergie evacuat cu apa de răcire a MAI va constitui:

$$E_x^{apa.ev} = e_x^{apa.ev} \cdot \dot{m}_{ap\bar{a}} = 14,04 \cdot 2,48 = 34,9 \text{ kW}.$$

Exergia specifică a apei introduse în MAI va primi valoarea:

$$e_x^{apa.ev} = h - h_{ma} - T_{ma} (s - s_{ma}) = 293,3 - 100,56 - 297 (0,9548 - 0,3530) = 14,04 \text{ kJ / kg}.$$

A6.3. Calculul pierderilor de exergie

Vor fi calculate succesiv valorile tuturor pierderilor de exergie din conturul delimitat în figura 2.9, prin intermediul relațiilor expuse în paragraful 2.3.4.

Pierderile cauzate de ireversibilitatea arderii combustibilului în MAI vor fi calculate cu relația:

$$P_x^{ard} = \left\{ \left[(1 + \gamma_r) (1 + \alpha \cdot V_{aer}^0) / (k - 1) \right] \cdot R \cdot \rho \cdot T_{ma} \ln \lambda \right\} \cdot B = \\ = \left\{ \left[(1 + 0,0347) (1 + 1,5 \cdot 9,76) / 1,3 - 1 \right] \cdot 287 \cdot 297 \cdot 1,138 \cdot \ln 4,43 \right\} \cdot 0,035 = 272,7 \text{ kW}.$$

Pierderile cauzate de ireversibilitatea procesului de evacuare a agentului de lucru din motor:

$$P_x^{ev} = \left\{ \left[k / (k - 1) \right] \left[1 + \alpha \cdot V_{aer}^0 \right] \cdot R \cdot \rho \cdot T_{ma} \cdot \ln(T_{ev} / T_{d'}) \right\} \cdot B = \\ = \left\{ \left[1,3 / (1,3 - 1) \right] \left[1 + 1,5 \cdot 9,76 \right] \cdot 287 \cdot 1,138 \cdot 297 \cdot \ln(1224 / 1101) \right\} \cdot 0,035 = 24,4 \text{ kW}.$$

Pierderile cauzate de ireversibilitatea proceselor de laminare a agentului de lucru la admisie sunt egale cu cele cauzate de laminarea agentului de lucru la evacuare din motor:

$$P_x^{lam.in} = P_x^{lam.ev} = \left[(1 + \alpha \cdot V_{aer}^0) R T_{ma} \ln \frac{1}{1 - \psi_a} \right] \cdot B = \left[(1 + 1,5 \cdot 9,76) 287 \cdot 1,138 \cdot 297 \cdot \ln \frac{1}{1 - 0,14} \right] = 9,23 \text{ kW}$$

Pierderile de exergie cauzate de ireversibilitatea transferului de căldură în mediul ambiant vor fi:

$$P_x^{ma} = Q(1 - T_{ma} / T_p) = 27(1 - 297 / 311) = 1,22 \text{ kW}.$$

Pierderile datorate ireversibilității transferului de căldură dintre gazele de ardere și apa de răcire:

$$P_x^{t.c.apa} = \sum_{i=1}^n P_{xi} - (P_x^{ard} + P_x^{ev} + P_x^{lam.ad} + P_x^{lam.ev} + P_x^{ma}) = 390,7 - (272,7 + 24,4 + 9,23 + 9,23 + 1,22) = 73,9 \text{ kW}.$$

A7. Calculul componentelor bilanțului termic pentru cuptorul clasic

Calculul componentelor bilanțului termic al cuptorului panificație de tip PPP va fi efectuat în corespundere cu metodologia expusă în subcapitolul 2.4.

Cantitatea de căldură consumată pentru aburirea pâinii:

$$Q_2 = (G / 3600) \cdot \dot{m}_{abur} \cdot (h_{sup} - h_s) = (972 / 3600) \cdot 0,25 \cdot (2706,6 - 2458,6) = 16,7 \text{ kW}.$$

Debitul de abur consumat pentru aburirea unui kg de pâine caldă:

$$\dot{m}_{abur} = D / G = 240 / 972 = 0,25 \text{ kg}_{abur} / \text{kg}_{p.c.}$$

Entalpia aburului utilizat pentru aburirea pâinii:

$$h_s = h' + rx = 439 + 0,9 \cdot 2244 = 2458,6 \text{ kJ / kg},$$

în care h' și r au fost preluate din tabele termodinamice pentru apă și vapori de apă în funcție de presiunea absolută a aburului $p_{abur} = 120 \text{ kPa}$.

Cantitatea de căldură necesară încălzirii aerului rece pătruns prin ventilație în camera de coacere:

$$Q_3 = (G / 3600) \cdot L \cdot (t''_{cc} - t_{aer}) = (972 / 3600) \cdot 1,05 \cdot (122 - 24) = 27,8 \text{ kW}.$$

Cantitatea de aer rece ce intră în camera de coacere pentru a evacua aerul umed, pentru 1 kg de pâine coaptă:

$$L = (w_{ev} + \dot{m}_{abur}) / (d_{cc} - d_{aer}) = (0,177 + 0,25) / (0,421 - 0,014) = 1,05 \text{ kg}_{aer} / \text{kg}_{pâine}.$$

Temperatura aerului umed la ieșire din camera de coacere a cuptorului:

$$t''_{cc} = (t_{zona4} + t_{aer}) / 2 = (220 + 24) / 2 = 122 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Conținutul de umiditate al aerului evacuat din camera de coacere s-a cules din diagrama h-d pentru aerul umed în funcție de temperatura t''_{cc} și umiditatea relativă φ_{cc} a acestuia, iar conținutul de umiditate al aerului intrat în camera de coacere s-a cules din diagrama h-d în funcție de temperatura t_{aer} și umiditatea relativă φ_{aer} a acestuia.

Cantitatea de căldură consumată pentru încălzirea benzii transportoare:

$$Q_4 = (G / 3600) \cdot g_b \cdot c_p^b \cdot (t_b'' - t_b') = (972 / 3600) \cdot 0,61 \cdot 0,462 \cdot (166 - 30) = 10,4 \text{ kW}.$$

Masa benzii raportată la 1 kg de pâine coaptă:

$$g_b = m_b / m_{p.c} = 198 / 324 = 0,61 \text{ kg}_b / \text{kg}_{pâine}.$$

Calculul pierderilor de căldură prin pereții exteriori ai cuptorului Q_5 este prezentat în Anexa 2.

Aceste pierderi constituie 25,6 kW.

A8. Calculul cheltuielilor totale în scenariul de proiect

A8.1. Calculul CTA aferente instalației de cogenerare pe perioada de studiu

Calculule prezentate în anexa respectivă se vor face respectând metodologia expusă în paragraful 4.1.3, utilizând datele inițiale prezentate în tab. 4.4.

Cheltuielile cu investiția în instalația de cogenerare, luând în considerație faptul că în anul 7 de activitate vor avea loc lucrări de reparație capitală a MAI, vor constitui:

$$CTA_I = I + I_{rep} (1+i)^{\theta-t} = 380000 + 114000(1+0.11)^{0-7} = 434,91 \text{ mii } \$,$$

unde: I reprezintă investiția în instalația de cogenerare:

$$I = i_{sp} \cdot P_{nom,W} = 1000 \cdot 380 = 380 \text{ mii } \$;$$

I_{rep} - investiția cu reparația capitală a motorului cu ardere internă:

$$I_{rep} = I \cdot k_{rep} = 380 \cdot 0,3 = 114 \text{ mii } \$.$$

În corespundere cu expresia (4.10), *cheltuielile totale de operare și mentenanță* vor constitui:

$$CTA_{O\&M} = C_{O\&M,0} \cdot \bar{T}_{T,X1} = 15200 \cdot 9,46 = 143,79 \text{ mii } \$,$$

unde: $C_{O\&M,0}$ reprezintă valoarea de referință a cheltuielilor anuale O&M, raportată la anul 0, în conformitate cu relația (4.11):

$$C_{O\&M,0} = k_{O\&M,0} \cdot I = 0,04 \cdot 380000 = 15200 \text{ } \$ / \text{ an};$$

$\bar{T}_{T,X1}$ - durata recalculată a perioadei de studiu, determinată la rata x_1 :

$$x_1 = (1+i) / (1+r_{O\&M}) - 1 = (1+0,11) / (1+0,05) - 1 = 0,0571.$$

Cheltuielile totale cu combustibilul consumat pe perioada de studiu $CTA_{comb,0}$, luând în considerație faptul că în anul 7 se vor petrece lucrări de reparație capitală, în conformitate cu relația (4.14), vor constitui:

$$CTA_{comb} = C_{comb,0} \cdot \bar{T}_{T,X2} + C_{comb,7} \cdot \bar{T}_{T,X2} \cdot (1+i)^{-7} = 291,55 \cdot 5,85 + 438,16 \cdot 5,85 \cdot (1+0,11)^{-7} = 2937,11 \text{ mii } \$;$$

unde: $C_{comb,0}$ reprezintă valoarea de referință a costului anual al combustibilului consumat de instalația de cogenerare, raportată la anul 0:

$$C_{comb,0} = B_{comb,0} \cdot T_{comb,0} = 950 \cdot 306,9 = 291,55 \text{ mii } \$ / \text{ an};$$

$B_{comb,0}$ - valoarea de referință a consumului anual de combustibil, în anul 0 al perioadei de studiu, din tab. 4.2.

$\bar{T}_{T,X2}$ - durata recalculată a perioadei de studiu, determinată la rata x_2 :

$$x_2 = \left[\frac{(1+i)}{(1+r_{comb}) \cdot (1+r_b) \cdot (1+r_{deg r})} \right] - 1 = \\ = \left[\frac{(1+0,11)}{(1+0,06) \cdot (1+0,005) \cdot (1-0,005)} \right] - 1 = 0,0472;$$

$C_{comb,7}$ - valoarea de referință a costului anual al combustibilului, raportată la anul 7:

$$C_{comb,7} = (B_{comb,8} \cdot T_{comb,8}) / (1+r_{comb}) = (950 \cdot 489,15) / (1+0,06) = 438,16 \text{ mii } \$ / \text{ an};$$

- $B_{comb,8}$ - valoarea de referință a consumului anual de combustibil, în anul 8 al perioadei de studiu: $B_{comb,8} = B_{comb,0} = 950 \text{ mii } m^3/an$;
- $T_{comb,8}$ - valoarea de referință a tarifului la gaze naturale, în anul 8 al perioadei de studiu:
 $T_{comb,8} = T_{comb,0} \cdot (1 + r_{comb})^8 = 306,9 \cdot (1 + 0,06)^8 = 489,15 \text{ } \$ / mie \text{ } m^3$.

Cheltuielile totale cu uleiul lubrifiant consumat pe perioada de studiu $CTA_{ulei,0}$, luând în considerație faptul că în anul 7 se vor petrece lucrări de reparație capitală și în conformitate cu relația (4.19), vor constitui:

$$CTA_{ulei} = C_{ulei,0} \cdot \bar{T}_{T,X4} + C_{ulei,7} \cdot \bar{T}_{T,X4} \cdot (1+i)^{-7} = 1,77 \cdot 6,18 + 2,85 \cdot 6,18 \cdot (1+0,11)^{-7} = 19,43 \text{ mii } \$;$$

unde: $C_{ulei,0}$ reprezintă valoarea de referință a cheltuielilor anuale cu uleiului, raportată la anul 0:

$$C_{ulei,0} = V_{ulei,0} \cdot (c_{ulei,0} / r_{sv}) = 443,33 \cdot (80 / 20) = 1,77 \text{ mii } \$ / an;$$

$V_{ulei,0}$ - valoarea de referință a consumului anual de ulei, în anul 0 al perioadei de studiu:

$$V_{ulei,0} = W_0 \cdot k_{ulei} / \rho_{ulei} = 2850000 \cdot 0,14 \cdot 10^{-3} / 0,9 = 443,33 \text{ l};$$

$\bar{T}_{T,X4}$ - durata recalculată a perioadei de studiu, determinată la rata x_4 :

$$x_4 = \left[(1+i) / (1+r_v) \cdot (1+r_{ulei}) \right] - 1 = \left[(1+0,11) / (1+0,005) \cdot (1+0,07) \right] - 1 = 0,0322;$$

$C_{ulei,7}$ - valoarea de referință a cheltuielilor anuale cu uleiul, raportată la anul 7:

$$C_{ulei,7} = (V_{ulei,8} \cdot c_{ulei,8}) / (1+r_{ulei}) = (443,33 \cdot 6,87) / (1+0,07) = 2,85 \text{ mii } \$ / an;$$

$V_{ulei,8}$ - valoarea de referință a consumului anual de ulei, în anul 7 al perioadei de studiu: $V_{ulei,8} = V_{ulei,0} = 443,33 \text{ l/an}$;

$c_{ulei,8}$ - valoarea de referință a prețului la ulei, în anul 8 al perioadei de studiu:

$$c_{ulei,8} = c_{ulei,0} \cdot (1 + r_{ulei})^8 = (80 / 20) \cdot (1 + 0,07)^8 = 6,87 \text{ } \$ / l.$$

A8.2. Calculul CTA aferente achiziționării energiei suplimentare din RIP

Cheltuielile cu achiziția deficitului de energie electrică CTA_{el} se vor determina luând în considerație faptul că în anul 7 va avea loc reparația capitală a instalației de cogenerare și ținând cont de rata de degradare a acesteia datorită uzurii fizice:

$$CTA_{el} = C_{el,0} \cdot \bar{T}_{T,X5} + C_{el,7} \cdot \bar{T}_{T,X5} \cdot (1+i)^{-7} = 502,2 \cdot 5,92 + 755,12 \cdot 5,92 \cdot (1+0,11)^{-7} = 5122,53 \text{ mii } \$;$$

unde: $C_{el,0}$ reprezintă valoarea de referință a costului anual al electricității achiziționate, raportată la anul 0:

$$C_{el,0} = W_0 \cdot (T_{W,0} / r_{sv}) = 4650000 \cdot (2,16 / 20) = 502,2 \text{ mii } \$ / an;$$

$\bar{T}_{T,X5}$ - durata recalculată a perioadei de studiu, determinată la rata x_5 :

$$x_5 = \left[(1+i) / (1+r_{el}) \cdot (1+r_E) \right] - 1 = \left[(1+0,11) / (1+0,0031) \cdot (1+0,06) \right] - 1 = 0,044;$$

$C_{el,7}$ - valoarea de referință a costului anual al electricității achiziționate, raportată la anul 7:

$$C_{el,7} = (W_8 \cdot T_{W,8}) / (1+r_E) = (4650 \cdot 0,172) / (1+0,06) = 755,12 \text{ mii } \$ / an;$$

- W_8 - valoarea de referință a cantității de electricitate achiziționată, în anul 8 al perioadei de studiu: $W_8 = W_0 = 4650 \text{ MWh/an}$;
- $T_{W,8}$ - valoarea de referință a tarifului la electricitate, în anul 8 al perioadei de studiu:
 $T_{W,8} = T_{W,0} \cdot (1+r_E)^8 = (2,16/20) \cdot (1+0,06)^8 = 0,172 \text{ \$/ kWh}$.

Cheltuielile cu achiziția suplimentară de gaze naturale CTA_{comb} se vor determina luând în considerație faptul că în anul 7 va avea loc reparația capitală a instalației de cogenerare și ținând cont de rata de degradare a acesteia datorită uzurii fizice:

$$CTA_{comb} = C_{comb,0} \cdot \bar{T}_{T,X6} + C_{comb,7} \cdot \bar{T}_{T,X6} \cdot (1+i)^{-7} = 328,23 \cdot 5,95 + 493,5 \cdot 5,95(1+0,11)^{-7} = 3364,65 \text{ mii \$};$$

unde: $C_{comb,0}$ reprezintă valoarea de referință a costului anual al combustibilului achiziționat, raportată la anul 0:

$$C_{comb,0} = B_{comb,0} \cdot (T_{comb,0} / r_{SV}) = 1070 \cdot (6138 / 20) = 328,23 \text{ mii \$ / an};$$

$\bar{T}_{T,X6}$ - durata recalculată a perioadei de studiu, determinată la rata x_6 :

$$x_6 = \left[(1+i) / (1+r_{comb}) \cdot (1+r_{gn}) \right] - 1 = \\ = \left[(1+0,11) / (1+0,06) \cdot (1+0,0044) \right] - 1 = 0,0426;$$

$C_{comb,7}$ - valoarea de referință a costului anual al combustibilului achiziționat, raportată la anul 7:

$$C_{comb,7} = (B_{comb,8} \cdot T_{comb,8}) / (1+r_{comb}) = (1070 \cdot 489,15) / (1+0,06) = 493,50 \text{ mii \$ / an};$$

$B_{comb,8}$ - valoarea de referință a consumului anual de combustibil, în anul 8 al perioadei de studiu: $B_{comb,8} = B_{comb,0} = 1070 \text{ mii m}^3/\text{an}$;

$T_{comb,8}$ - valoarea de referință a tarifului la combustibil, în anul 8 al perioadei de studiu:

$$T_{comb,8} = T_{comb,0} \cdot (1+r_{comb})^8 = (6138 / 20) \cdot (1+0,06)^8 = 489,15 \text{ \$/ kWh}$$

A9. Calculul costului energiei termice produse la o sursă de referință

În tabelul A9.1 sunt prezentate datele inițiale necesare pentru determinarea costului energiei termice produse la o centrală termică cu sarcina termică egală cu cea a instalației de cogenerare studiate în lucrare.

Tabelul A9.1. Datele inițiale de calcul

Indicator	Notație	Unitate	Valoare
Puterea termică a CT	Q	kW	683
Tariful gaze naturale	$T_{comb,0}$	\$/mie m ³	306,9
Căldura de ardere a gazelor naturale	Q_i	MJ/m ³	33,03
Durata de utilizare a puterii maxime	T_M	h/an	7 500
Investiția specifică în CT*	i_{sp}	\$/kW	100
Durata de viață a instalațiilor	T_s	ani	14
Randamentul cazanului	η	%	92
Rata anuală a cheltuielilor de operare și mentenanță	$r_{O\&M}$	%	5
Rata de schimb valutar	r_{SV}	lei/\$	20,00

* Investiția specifică într-un cazan variază de la 40-60 \$/kW, în dependență de putere, producător, durată de viață, eficiență etc. Pe lângă investiția în procurarea cazanului, o centrală termică industrială mai trebuie să fie dotată cu infrastructura specifică. S-a admis valoarea investiției specifice în centrala termică de 100 \$/kW, dintre care 60 \$/kW reprezintă investiția în procurarea cazanului și 60 \$/kW revin cheltuielilor aferente construcției clădirii, echipamentelor auxiliare și efectuării lucrărilor.

Costul energiei termice produse la centrala de referință va fi determinat cu relația:

$$C_{Q,0} = C_{comb} + C_I + C_{O\&M} = 42,28 + 2,22 + 0,78 = 45,28 \text{ \$ / Gcal} = 905,6 \text{ lei / Gcal};$$

unde: C_{comb} reprezintă cheltuielile cu procurarea gazelor naturale pentru producerea unei Gcal de energie termică:

$$C_{comb} = (b_0 / 1000) \cdot T_{comb,0} (137,75 / 1000) \cdot 306,9 = 42,28 \text{ \$ / Gcal};$$

b_0 - consumul specific de combustibil pentru producerea unei Gcal de energie termică:

$$b_0 = [(4,186 / Q_i) \cdot 1000] / \eta = [(4,186 / 33,03) \cdot 1000] / 0,92 = 137,75 \text{ m}^3 / \text{Gcal};$$

C_I - cheltuielile cu investiția pentru fiecare Gcal energie termică produsă:

$$C_I = (c_{I,t} \cdot 1000) / (100 \cdot 0,86) = (0,19 \cdot 1000) / (100 \cdot 0,86) = 2,22 \text{ \$ / Gcal};$$

$c_{I,t}$ - mărime ce exprimă cheltuielile cu investiția în structura costului energiei termice:

$$c_{I,t} = (C_{I,t} / Q) \cdot (100 / T_M) = (9782,49 / 683) \cdot (100 / 7500) = 0,19 \text{ c}_s / \text{kWh};$$

- $C_{I,t}$ - cheltuielile anuale cu rambursarea împrumutului pentru investiție:

$$C_{I,t} = (i_{sp} \cdot Q) / \bar{T}_{T,i} = (100 \cdot 683) / 6,98 = 9782,49 \text{ \$ / an};$$
- $\bar{T}_{T,i}$ - durata recalculată a perioadei de studiu, determinată la rata de actualizare i , care se consideră dobânda la capitalul împrumutat:

$$\bar{T}_{T,i} = \left[1 - (1 + i)^{-T} \right] / i = \left[1 - (1 + 0,11)^{-14} \right] / 0,11 = 6,98 \text{ ani.}$$
- $C_{O\&M}$ - cheltuielile cu operarea și mentenanța pentru fiecare Gcal energie termică produsă:

$$C_{O\&M} = (c_{O\&M} \cdot 1000) / (100 \cdot 0,86) = (0,07 \cdot 1000) / (100 \cdot 0,86) = 0,78 \text{ \$ / Gcal};$$
- cheltuielile cu operarea și mentenanța pentru 1 unitate de energie termică produsă:

$$c_{O\&M} = (i_{sp} \cdot r_{O\&M}) / T_M = (100 \cdot 0,05) / 7500 = 0,097 \text{ c}_\$/kWh.$$

A10. Implementarea rezultatelor științifice

APROB

Prim prorector UTM

Prof. Petru TODOS



APROB

Director Școală Doctorală
Energie și Inginerie Electrică,

prof. Mihail CHIORSAC

ACT DE IMPLEMENTARE

a rezultatelor științifice ale lectorului superior Corina CHELMENCIUC
obținute în teza de doctor

*Reducerea ireversibilității proceselor cu gaze la coacerea pînii prin integrarea cogenerării,
în procesul de studiu la Facultatea Energetică și Inginerie Electrică, UTM*

În scopul confirmării actului de implementare a rezultatelor științifice, obținute de Dna Corina CHELMENCIUC în cadrul tezei sale de doctorat, la Facultatea Energetică și Inginerie Electrică a UTM a fost creată o Comisie în următoarea componență:

Președinte – **Victor Pogora**, conf. univ., decan,

Membrii: **Ion Stratan**, prof. univ., șeful catedrei EE,

Valentin Arion, prof. univ. șeful catedrei TME

Aurel Guțu, conf. univ., catedra TME.

În perioada 14-23 martie 2016 Comisia a studiat subiectul cu privire la implementarea și utilizarea rezultatelor cercetărilor științifice ale Dnei Corina Chelmenciuc, în procesul de studiu la Facultatea Energetică și Inginerie Electrică a UTM și constată:

1. Începând cu anul de studii 2014/2015 elaborările dnei Chelmenciuc C. sunt utilizate în procesul de învățământ la mai multe cursuri la specialitățile: Termoenergetica (TE), Inginerie și Management în Energetică (IME), Energie și Mediu (EM).
2. Modulele dezvoltate în cadrul tezei:
 - Principiul aplicării cogenerării integrate în cadrul proceselor tehnologice.
 - Aspecte metodologice ce privesc evaluarea eficienței energetice și exergetice a proceselor cu gaze în instalații tehnologice de tip CogIntegr.
 - Metodologia de calcul a pierderilor de exergie aferente proceselor de obținere a gazelor de ardere în instalații tehnologice.
 - Evaluarea eficienței economice a tehnologiilor CogIntegr.

Sunt utilizate în procesul de învățământ la următoarele discipline:

Denumirea disciplinelor (specialitatea)	Ciclul de studii
1. Termodinamica Tehnică (TE, IME)	Ciclul I
2. Cuptoare industriale (TE)	
3. Conservarea energiei și surse regenerabile de energie (TE)	
4. Energetică generală (IME)	
5. Analiza termodinamică a proceselor tehnologice (EM)	Ciclul II
6. Audit energetic (EM)	

3. Elaborările menționate ale Dnei Corina Chelmenciuc sunt pe larg utilizate la elaborarea tezelor de licență și masterat ale studenților specialităților Termoenergetica (TE), Inginerie și Management în Energetică (IME) și Energie și Mediu (EM).

V. Pogora

I. Stratan

V. Arion

A. Guțu

29 aprilie 2016

A11. Mențiuni





GLOBAL ENVIRONMENT FACILITY
INVESTING IN OUR PLANET

CERTIFICATE OF QUALIFICATION

This is to certify that

Corina CHELMENCIUC

has successfully completed the UNIDO EXPERT Training Program on

Industrial Steam System Optimization

Duration: **5 days**

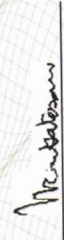
Dates: **14 November 2012 – 29 June 2013**

organized by the United Nations Industrial Development Organization and
the Ministry of Environment of the Republic of Moldova


Chisinau, Republic of Moldova



Pradeep Manga
Director
UNIDO Energy & Climate Change



Ven V. Venkatesan
UNIDO International SSO
Trainer



Greg Harrell
UNIDO International SSO Trainer



Valentina Tapiș
Minister
Ministry of Environment



ENERGY COOPERATION BETWEEN THE EU, THE LITTORAL STATES OF THE BLACK & CASPIAN SEAS AND THEIR NEIGHBOURING COUNTRIES
New INOGATE Technical Secretariat (ITS) Project



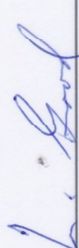
CERTIFICATE

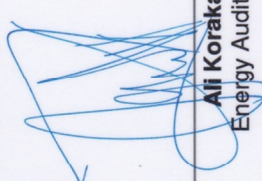
Issued to


Corina Chelmenciuc

Upon successful completion
of the INOGATE New ITS Project Workshop
on **Industrial Energy Audit Analysis for Bankable Projects**

March 13-15, 2013
Chisinau, Republic of Moldova


Larry Good, CEM, BEP, CEA, CSDP
ITS Key expert for Sustainable Energy


Ali Korakan, CEA
Energy Auditing Expert


Vahari Babajanyan
Financial Training & Research Expert

SIELMEN 2015
DIPLOMA OF PARTICIPATION

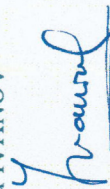
Awarded to

Corina CHELMENCUC

In acknowledgement of your participation at the
10th International Conference on Electromechanical and Power Systems

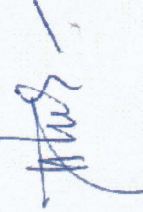
CHAIRS OF THE ORGANIZING COMMITTEE

Sergiu IVANOV



Ilie NUCĂ

Dorin Dumitru, LUCACHE



06-09.10.2015

Craiova - Chişinău

Declarația privind asumarea răspunderii

Subsemnata, declar pe răspundere personală că materialele prezentate în teza de doctorat sunt rezultatul propriilor cercetări și realizări științifice. Conștientizez că, în caz contrar, urmează să suport consecințele în conformitate cu legislația în vigoare.

Chelmenciuc Corina

Semnătura

Data:

CURRICULUM VITAE

Numele, prenumele:	CHELMENCIUC Corina	
Data și locul nașterii:	06.03.1983, s. Telița, raionul Anenii Noi, Republica Moldova	
Starea familială:	Căsătorită, un copil	
Adresa la domiciliu	str. Studenților 7/10, ap. 76, mun. Chișinău, Republica Moldova, Tel: 069060502	
Adresa la serviciu	Str. 31 august 1989 nr. 78, mun. Chișinău, Republica Moldova. Tel: 022-23-76-18	
Funcția	Șefă de catedră, lector superior	
Studii:	2005 - diplomă de licență, specialitatea Termoenergetica, UTM, FEIE, cat. TME 2006 - diplomă de masterat, specialitatea Energie și Mediu, UTM, FEIE, cat. TME	
Activitatea profesională:	2005 prezent: cadru didactic, UTM, FEIE, catedra TME 2014 – 2015: prodecan FEIE, UTM 2016 – prezent: șefă de catedră TME	
	Cursuri predate:	
	2005 - 2016 - Surse și sisteme de alimentare cu energie termică Conversia energiei și instalații energetice	
	2007 - 2008 - Politici energetice	
	2007 - 2016 - Sisteme de încălzire, alimentare cu apă caldă, frig și gaze Instalații pentru protecția mediului în termoenergetică	
	2015 - 2016 - Audit energetic 2016 - Energetica generală	
Domeniul de interes științific	- Analiza termodinamică a proceselor tehnologice - Sporirea eficienței energetice - Reducerea impactului asupra mediului	
Participări la evenimente științifice internaționale	1. A 8-a, 9-a și a 10-a conferință internațională de sisteme electromecanice și energetice, SIELMEN 2011, 2013, 2015, - Chișinău, R. Moldova. 2. Simpozionului Științific al Inginerilor Români de Pretutindeni SINGRO-2014, 23-24 octombrie, 2014 - Chișinău, R. Moldova. 3. Conferința Națională – multidisciplinară cu participare Internațională, Ediția XIII „Profesorul Dorin Pavel, fondatorul hidroenergeticii românești”, 7-8 iunie 2013, - Sebeș, România. 4. Conferința tehnico-științifică internațională “Energie, Eficiență, Ecologie și Educație”, 23-24 mai 2013, - Chișinău, R. Moldova. 5. Conferința Internațională ENERGETICA MOLDOVEI – 2012, 2016 Aspecte regionale de dezvoltare, 2012, 2016 - Chișinău, R. Moldova.	
Cunoașterea limbilor:	Română – excelent (nativă) Rusă – bine Engleză - bine	
E-mail	corina.chelmenciuc@tme.utm.md +373-22-23-76-18	