



STUDIU EXERGOECONOMIC DE RENTABILITATE A FUNCȚIONĂRII UNEI CENTRALE TERMOELECTRICE

Serghei Palaș, Natalia Begleț

Universitatea Tehnică a Moldovei, Catadra de Termotehnică și Management în Energetică

Abstract – *The differentiated principle of formation of the tariff for thermal energy, produced in a combined mode, is offered by the exergoeconomic method.*

Keywords – *Analiza exergoeconomică, costul energiei termice și electrice.*

1. INTRODUCERE

Locuitorii orașului Chișinău (și nu numai ai acestui oraș) atrag atenția, că în cele mai reci zile ale iernii, din turnurile de răcire ale CET-2 sunt aruncate cantități foarte mari de abur. În același timp în oraș sunt puse în funcțiune zeci de CT-uri, care se află în raza de funcționare a CET-ului. Conform calculelor preliminare, cantitatea de energie evacuată de turnurile de răcire a CET-2 este suficientă și nu mai justifică funcționarea acestor CT (la temperatura aerului ambiant până la -5°C).

De ce să aruncăm căldura din turnuri de răcire în atmosferă – în loc utilizând astfel căldura, necesară termoficării?

Economistii CET și CT au constatat faptul că, în sezonul de vară, costul căldurii produse pentru consumatori, din cauza sarcinii mici, este de 2-4 ori mai mare decât în sezonul de iarnă. Logica presupune că, consumatorul continuu trebuie să fie cel mai convenabil consumator, însă metoda de calcul existentă ne arată că, consumatorul de vară e cel mai costisitor.

De ce metoda existentă de calcul nu corespunde logicii?

Se presupune că locuitorii orașului, consumatori de energie electrică, sunt pe contul consumatorilor industriali de energie termică. Aceasta este o părere greșită. Calculele arată că fiecare locuitor al orașului, consumând simultan energie electrică și căldură de la CET, asigură producția energiei electrice pentru încă 3-4 locuitori ai orașului. Consumul specific de combustibil necesar generării căldurii și energiei electrice într-un ciclu combinat reprezintă 50% din consumul de combustibil al aceluși consumator, care separat consumă căldura de la CT, dar energie electrică cumpără de la liniile de distribuție de la CTE.

De ce noi nu stimulăm combinarea cea mai economică a consumului de energie?

Căldura cu potențialul scăzut e aruncată în canalizare, în atmosferă și nu se returnează pentru utilizarea repetată.

Peste hotare este convenabilă utilizarea căldurii aruncate, dar la noi nu! Acolo se introduc frecvent pompe termice. Din 1993 în fiecare an se instalează circa 1 mln. de instalații. La noi în țară, unde sezonul de

încălzire reprezintă 40% din timpul total al anului, se cunoaște puțin despre existența pompelor termice.

Noi cu uimire facem cunoștință cu vesela firmei „Zepter”. Ce fel de acumulare termică? Noi n-am învățat așa ceva. Peste hotare se elaborează și se introduc instalații energetice cu acumularea termică de 500 MWh, acumulatori subterane „cu presiunea lunecoasă”, acumulatori de trecerea a fazei. Ei pun și rezolvă problema reglării sezoniere a livrării căldurii.

De ce nouă ne este mai convenabil să introducem puteri noi, iar ei le folosesc pe cele existente?

De ce costul energiei termice la CET este egal cu costul energiei termice produse la CT, dar nu reprezintă așa cum ar trebui 50-60%?

De ce consumatorilor le este mai convenabil să folosească CT-uri vechi proprii și refuză încălzirea centralizată?

Una din cauzele constă în problema determinării costului energiei termice și electrice produse în cogenerare.

2. ANALIZA EXERGOECONOMICĂ DE RENTABILITATE A FUNCȚIONĂRII CET

Referitor la analiza exergoeconomică, toate sistemele de transformare a energiei pot fi divizate în trei grupe diferite:

- × **Prima grupă.** Sistemele în care schimbul extern de energie se face sub formă de energie electrică sau lucru mecanic, adică formele care nu sunt caracterizate prin entropie, în care energia este de fapt exergia. În acest caz analiza exergoeconomică se bazează pe caracteristici energetice. Ca exemplu pot servi: generator electromecanic, motor electric, transformator electric, reductor mecanic.
- × **A doua grupă.** Sistemele în care materia și energia primă ca și produsul final unic pot fi caracterizate prin entropie și au exergia diferită. În astfel de sisteme caracteristicile exergice, în urma optimizării, rămân neschimbate. Atunci optimum economic se determină prin costul specific minim pe unitatea de produs (fie energia sau substanța). Ca exemplu pot servi: centrala termică destinată generării aburului sau căldurii, centrala termoelectrică în condensare.
- × **A treia grupă.** Sistemele în care se obține numai un singur produs cu caracteristici calitative diferite sau mai multe produse cu calități diferite. În acest caz aplicarea analizei exergoeconomice este necesară pentru caracterizarea acestor produse, ce au diferite caracteristici calitative.

Analiza exergoeconomică este bazată pe combinarea relațiilor dintre parametrii termodinamici (principiul I și II al termodinamicii) și cei economici.

Această analiză este utilă în cazul sistemelor energetice din grupa a treia, adică centrale electrice cu termoficare care produc energia electrică și termică.

La studiul exergoeconomic este necesar să se țină cont de particularitățile proceselor reale (distrugerii, frecări interne, etc).

Ecuatia de bază a analizei exergoeconomice exprimă costul produsului C_P în funcție de trei termeni componenți, [1]:

$$C_P = C_C + C_{CI} + C_{EI} \quad [\$] \quad (1)$$

în care C_C este costul a produselor consumate; C_{CI} - costul corespunzător capitalului investit; C_{EI} - costurile corespunzătoare exploatării și întreținerii instalației.

Ecuatia (1) exprimă modalitatea de operare a oricărei analize tehnico-economice. În ultimii 20 de ani însă, în termodinamică, odată cu dezvoltarea metodei exergetice de analiză, aceasta a fost combinată cu analiza economică, rezultând *metoda exergoeconomică de analiză*.

Analiza exergoeconomică atribuie fiecărui flux exergetic un cost, în general practicând costurile specifice exprimate în $\left[\frac{\$}{kW \cdot h} \right]$ sau $\left[\frac{\$}{GJ} \right]$ și $\left[\frac{\$}{kg} \right]$ a agentului termic.

Pentru fluxurile exergetice materiale de intrare E_i și de ieșire E_e din sistemul energetic, pentru lucru mecanic L și pentru fluxul de căldură transferată Q se calculează ratele de cost:

$$C_i = c_i \cdot E_i = c_i \cdot (m_i \cdot e_i) \quad [\$] \quad (2)$$

$$C_e = c_e \cdot E_e = c_e \cdot (m_e \cdot e_e) \quad [\$] \quad (3)$$

$$C_L = c_L \cdot L \quad [\$] \quad (4)$$

$$C_Q = c_Q \cdot Q \quad [\$] \quad (5)$$

În aceste relații mărimile c_i , c_e , c_L și c_Q reprezintă costuri exergetice specifice, iar m_i și m_e reprezintă debitele masice de intrare și respectiv de ieșire din sistem pentru agenții termici. Mărimile e_i și e_e reprezintă exergiile specifice ale agenților termici, calculate în funcție de parametri de calitate, temperatură și presiune. Cu ajutorul fluxurilor de cost calculate cu relațiile (2)-(5) se scriu ecuațiile de bilanț exergoeconomic.

De exemplu, pentru un sistem energetic cu ciclul Rankine care primește fluxul de căldură Q și generează energia electrică N se poate scrie:

$$\sum_e C_e + C_N = C_Q + \sum_i C_i + C_{CI} + C_{EI} \quad [\$] \quad (6)$$

Ecuatia (6) arată că sistemul energetic care produce lucrul mecanic de flux valoric C_N și produse secundare de flux valoric $\sum_e C_e$, consumă în acest scop

căldura de flux valoric C_Q , substanțe de flux valoric $\sum_i C_i$, investiția de flux valoric C_{CI} și cheltuieli

de exploatare-întreținere de flux valoric C_{EI} .

Costurile exergetice nu presupun faptul că costurile de producție a fluxurilor materiale sunt determinate numai prin costul exergetic. Costul de producție a fluxului energetic i reprezintă suma costului exergetic C_i^E și nonexergetic C_i^{NE} [2]:

$$C_i^{TOT} = C_i^E + C_i^{NE} \quad [\$] \quad (7)$$

Analiza exergoeconomică răspunde bine la întrebarea privitoare la costul gratuit al energiei solare, hidraulice sau eoliene. Conform ecuației (1) la aceste instalații costul C_C este nul, dar pentru a se obține produsul energetic C_P , trebuie amenajate instalații energetice performante (costul C_{CI}) care necesită cheltuieli de exploatare-întreținere (costul): câmpuri de panouri solare, baraje pentru lacuri de acumulare și turbine hidraulice, vaste sisteme energetice de turbine eoliene de diametre cât mai mari (10-15 m), susținute de stâlpi cât mai înalți (15-30 m).

Scopul analizei exergoeconomice este minimizarea costului produsului, conform ec.(1). În acest caz optimizarea sistemului studiat poate fi realizată prin construirea unui model cvazioptim, după care, prin modificarea unor parametri, putem stabili varianta optimă.

În multe cazuri optimizarea termodinamică cere cunoașterea mai multor mărimi, care au caracter variabil, atât în timp cât și ca mărime.

Pentru determinarea acestor mărimi pot fi aplicate diferite metode cu un grad înalt de subiectivism [3, 4]. Metoda aplicată în lucrare constă din următoarele considerente:

- Fiecare component exergetic constă din flux energetic și material. Parametri fiecărui flux sunt cunoscuți.
- În funcție de natura componentului se analizează exergia chimică, mecanică sau fizică.
- Fluxurile exergetice sunt de două feluri:
 - Fluxuri exergetice cu circuit deschis, cum ar fi turboagregat și turbina cu gaz.
 - Fluxuri exergetice cu circuit închis (schimbător de căldură, generator de abur).
- Noțiunile de „combustibil” și „produs” pentru fiecare component se determină utilizând următoarele criterii:
 - Pentru fluxuri exergetice cu circuit închis micșorarea exergiei fluxului între intrare și ieșire a componentului se referă la combustibil, E^{COMB} , fiecare creștere a exergiei fluxului – revine produsului, E^P , fig.1:

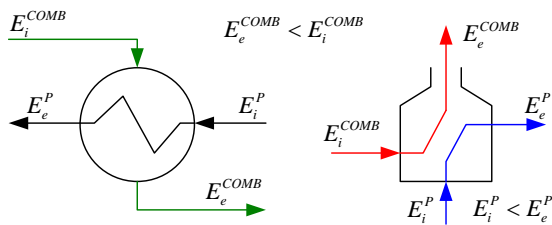


Figura 1. Fluxurile exergetice ale „combustibilului” și „produsului” în circuit închis.

- Pentru fluxuri exergetice cu circuit deschis exergia la intrare în component se referă la combustibil, la ieșire o parte din ea revine produsului, fig.2:

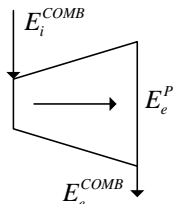


Figura 2. Fluxurile exergetice ale „combustibilului” și „produsului” în circuit deschis.

- Ecuații suplimentare bilanțului sunt formulate astfel:
 - Pentru „combustibil” costul unitar al exergiei c^{COMB} este proporțional variației exergiei din component:

$$c^{COMB} \cdot \sum_{k=1}^n (E_{i,k} - E_{e,k}) = \sum_{k=1}^n c_k^P \cdot (E_{e,k} - E_{i,k}) \quad (8)$$

unde k – fluxul exergetic din component, n – numărul de fluxuri exergetice.

Atunci costul unitar mediu se determină astfel:

$$c^{COMB} = \frac{\sum_{k=1}^n c_k^P \cdot (E_{e,k} - E_{i,k})}{\sum_{k=1}^n (E_{i,k} - E_{e,k})} \quad (9)$$

- Pentru „produs” costul unitar al exergiei rămâne neschimbat, indiferent de numărul fluxurilor, astfel pentru două fluxuri x și y vom avea:

$$c_x^P = c_y^P = c^P \quad (10)$$

Combinarea bilanțului costului a componentelor sistemului cu ecuațiile suplimentare (8)-(10) și rezolvarea sistemului obținut de ecuații liniare permite determinarea costului fiecărui flux de exergie, prin urmare și a produsului final.

3. ANALIZA EXERGOECONOMICA DE RENTABILITATE A FUNCIONARII S.A. CET-2 CHIȘINĂU

Realizarea calcului procesului tehnologic este un proces dependent de mai mulți factori (cum ar fi parametri aburului viu, parametri aburului de termoficare/industrial, sarcina electrică etc.), motiv pentru care modelarea procesului tehnologic devine o problemă foarte dificilă. Din acest motiv a fost utilizat un program informatic, prin care cu ajutorul calculatorului să face o analiză exergoeconomică de rentabilitate.

Pentru a realiza simularea numerică a procesului tehnologic este utilizat soft specializat **GE Enter Software GateCycle®** sub licență de evaluare [5-8]. Astfel utilizând analiza exergoeconomică și metode clasice de analiză a fost obținute următoarele rezultate.

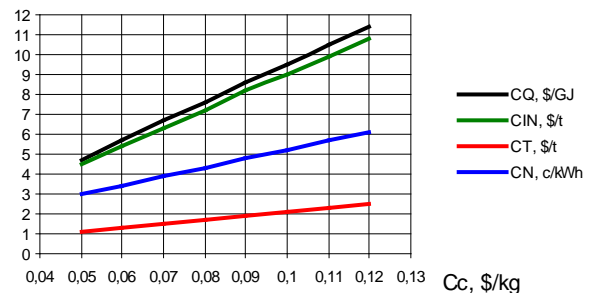


Figura 3. Variația costului specific a energiei termice și electrice funcție de costul combustibilului.

Din fig.3. se observă că costul energiei termice și electrice crește direct proporțional cu creșterea costului combustibilului.

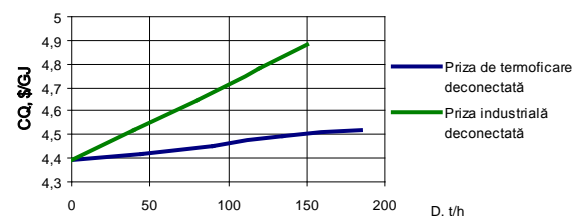


Figura 4. Variația costului energiei termice C_0 funcție de regim de funcționare ($N=80$ MW).

Variația costului unui GJ de căldură în regim cu priza de termoficare deconectată este mai lentă. Sarcina industrială nu influențează semnificativ asupra costului energiei termice. Acest fapt este un avantaj în folosul termoficării. În timpul suprasarcinii de termoficare (iarna) priza industrială poate fi utilizată pentru încălzire urbană.

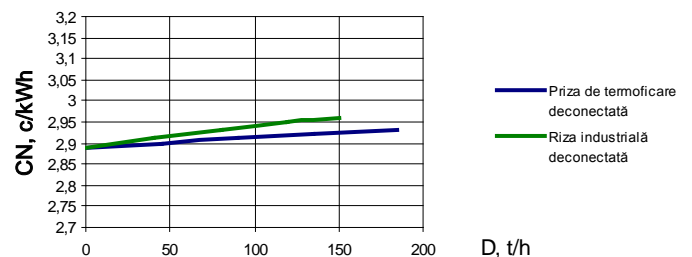


Figura 5. Variația costului energiei electrice C_N funcție de regim de funcționare ($N=80$ MW).

Creșterea sarcinii industriale influențează asupra costului energiei electrice numai cu 3% (fig.5).

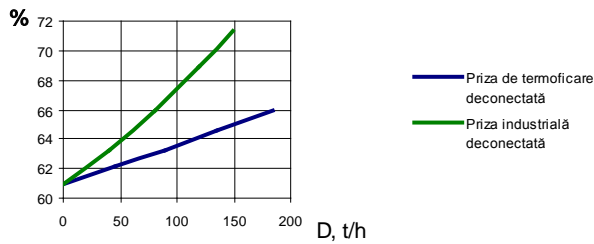


Figura 6. Variația eficienței exergetice ε_{TA} funcție de regim de funcționare ($N=80$ MW).

Variația eficienței exergetice pentru cazul cu priză industrială deconectată este mai semnificativă celei cu priză de termoficare deconectată. Aceasta se explică prin faptul că exergia aburului din priză de termoficare este inferioară celei din priză industrială. Prin urmare și costul exergetic specific devine mai mic. Sarcina industrială are influența mai mică asupra eficienței exergetice, ceea ce este încă un avantaj indirect al termoficării.

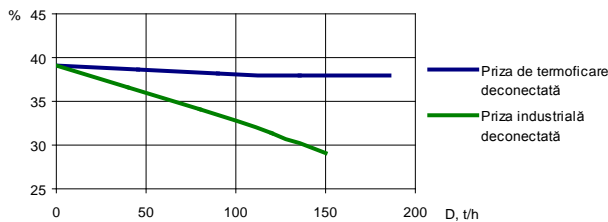


Figura 7. Variația diferenței relative de cost r_{TA} funcție de regim de funcționare ($N=80$ MW).

Din fig.7. se observă că diferența relativă de cost r_{TA} a turbogeneratorului rămâne practic constantă în cazul funcționării cu priză de termoficare deconectată, variația r_{TA} cu sarcina industrială constituie mai puțin de 1%. Deci, indiferent de sarcina industrială funcționare turboagregatului rămâne „scumpă”. În cazul funcționării turboagregatului cu sarcina de termoficare variația r_{TA} constituie 25%.

Prin concluzie funcționarea turboagregatului în regim de termoficare este mai avantajoasă din punct de vedere energetic (fig.6) și economic (fig.7). Combinând aceste considerente putem construi o diagrama de rentabilitate optimă pentru funcționare turboagregatului (fig.8).

Rentabilitatea funcționării turboagregatului crește în cazul prizei de termoficare deconectate și scade cu priză industrială deconectată. Acest fapt contrazice regimului avantajos de termoficare, dar combinând regimul de termoficare cu regimul cu sarcina industrială poate fi determinat un regim optim de funcționare.

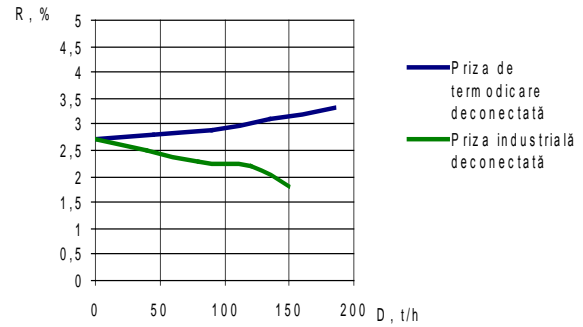


Figura 8. Variația rentabilității de funcționare R funcție de regim de funcționare ($N=80$ MW).

Este evident și caracter universal al metodei exergoeconomice și în cazul determinării costului energiei termice și electrice produse în cogenerare. Acesta reprezintă abordarea nouă asupra metodologiei de determinare a costului energiei termice și electrice produse în cogenerare. Costul energiei produse trebuie să țină cont și de factori care determină siguranța, disponibilitatea și fiabilitatea funcționării, precum și calitatea serviciilor. Funcționarea centralelor electrice cu termoficare la sarcini termice mult mai mici decât cele avute în proiect, în regimurile neeconomice (datorită obligativității de a produce energie electrică independent de cererea de căldură) și în condiții existente de determinare a costului energiei termice și electrice este neeficientă tehnic și economic. Ca urmare, gradul mediu anual de utilizare a capacității instalate este foarte redus, reducând randamentul de funcționare și randamentul cogenerării, respectiv, măbind costurile specifice de producere. În final prețul căldurii la consumator atinge valori mari.

Aplicând metodologia exergoeconomică la determinarea costului energiei termice și electrice produse în cogenerare poate fi aleasă o strategie de producere rentabilă. Astfel pentru consumatorii permanenți, care asigură sarcina termică pe parcursul anului întreg, costul energiei termice trebuie să fie redus față de consumatorul sezonier (fig. 9).

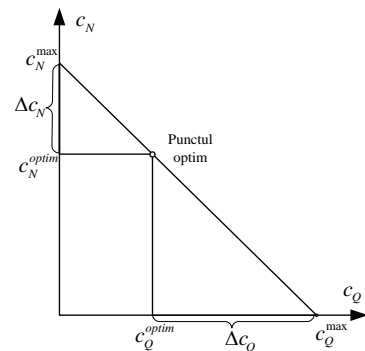


Figura 9. Variația costurilor de energie electrică și termică.

Pornind de la ipoteza că pentru energia electrică produsă în ciclu combinat există un cost maxim - c_N^{\max} , la fel ca și pentru energia termică c_Q^{\max} , cunoscând

interdependența lor se poate determina costul optim al energiei termice și electrice.

Prețul actual a energiei în Republica Moldova este următorul, (în parantezele sunt indicate prețuri din 2005 pentru România):

- energia electrică în linii de distribuție – 0,03 (0,05) \$/kWh;
- energia termică produsă la CET, vândută în rețele termice – 2,5 (3,6) \$/GJ;
- energia termică produsă la CT – 5,72 (5,6) \$/GJ;
- energia termică produsă la CET vândută consumatorului termic – 4,3 (7,7) \$/GJ.

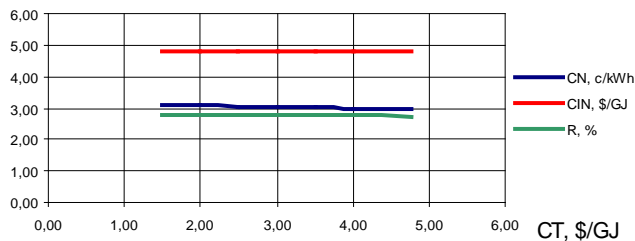


Figura 10. Variația costului energiei electrice C_N funcție de costul energiei termice C_T în regimul nominal de funcționare.

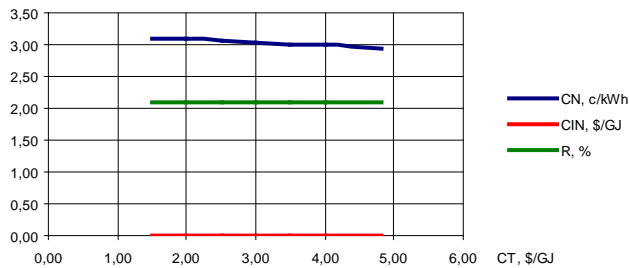


Figura 11. Variația costului energiei electrice C_N funcție de costul energiei termice C_T în regimul de funcționare cu priza industrială deconectată.

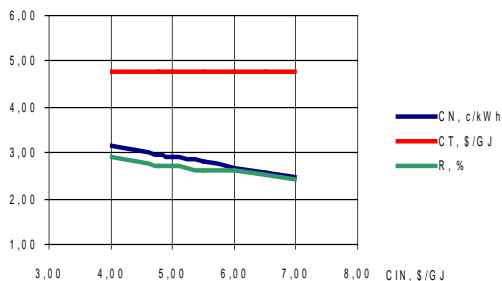


Figura 12. Variația costului energiei electrice C_N funcție de costul energiei termice C_{IN} în regimul nominal de funcționare.

Analizând datele din fig.10 – 12 putem constata:

- Variația costului energiei termice din priza de termoficare practic nu influențează asupra costului energiei electrice.
- Rentabilitatea funcționării practic nu depinde de costul energiei termice livrate din priza de termoficare.
- Cu creșterea costului energiei termice livrate din priza industrială costul energiei electrice scade și rentabilitatea funcționării la fel scade!!
- Cu micșorarea costului energiei termice livrate din priza industrială costul energiei electrice crește, ce este inadmisibil.
- Creșterea costului aburului industrial se justifică numai în cazul unui consumator sezonier cu condiția că costul energiei electrice rămâne neschimbat.

Cu ajutorul metodologiei de analiză exergoeconomică poate fi determinat costul energiei electrice în cazul dacă costul energiei termice este impus de producător:

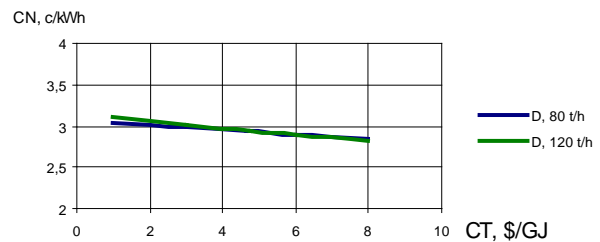


Figura 13. Variația costului energiei electrice C_N funcție de costul energiei termice C_T pentru regimul de termoficare (priza industrială este deconectată).

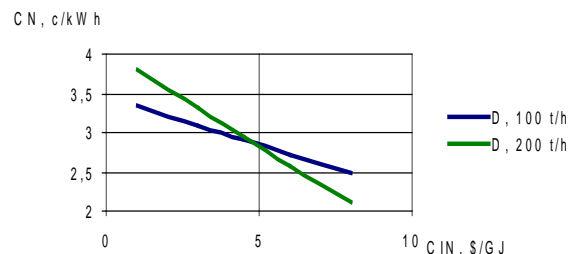


Figura 14. Variația costului energiei electrice C_N funcție de costul energiei termice C_{IN} în regimul cu sarcina industrială (priza de termoficare este deconectată).

Asupra costului energiei electrice în mare măsură influențează costul aburului din priza industrială în timp ce costul energiei termice din priza de termoficare duce la variația nesemnificativă a costului energiei electrice. Prin urmare funcționarea turboagregatului cu un cost redus al aburului din priza de termoficare este recomandată pentru a asigura sarcina electrică. În acest

caz această reducere de cost este justificată prin creșterea nesemnificativă al costului energiei electrice.

4. CONCLUZII

Pe baza modelării numerice și analizei exergoeconomice prezentate în această lucrare, pot fi studiate efectele economice negative asupra costului final al energiei produse de:

- ✓ scăderea randamentului intern relativ în CIP;
- ✓ scăderea randamentului intern relativ în CMP;
- ✓ înrăutățirii vidului în condensator;
- ✓ înrăutățirea funcționării preîncălzitoarelor regenerative;
- ✓ nereturnarea condensatului de la consumator termic;
- ✓ creșterea costului combustibilului;
- ✓ interconexiunea costurilor de energie electrică și termică produse în cogenerare.

Toate aceste pierderi pot fi calculate în unități de timp (oră, zi, lună, an), pot fi exprimate prin combustibil convențional sau în unități bănești.

Datele obținute pot fi comparate cu datele producătorului sau experimentale.

BIBLIOGRAFIE

- [1] Bejan, A., „*Termodinamică tehnică avansată*”, Ed. Tehnică, București, 1996.
- [2] Bejan, A., Tsatsaronis, G., Moran, M., „*Thermal Design & Optimization*”, John Wiley & Sons, 1996.
- [3] Tsatsaronis, G., Winhold, M./1985/*Exergoeconomic analysis and evaluation of energy-conversion plants. I. A new general methodology*/Energy, vol. 10, no. 1, pp. 69-80, Jan./Exergy, Coal power plant//
- [4] Moran, M., Shapiro, H., „*Fundamentals of Engineering Thermodynamics*”, John Wiley&Sons, 2000.
- [5] Serghei Palas, Natalia Beglet, *Metode de tarificare a energiei termice și electrice la CET*, Conferința Națională de Termotehnică, București, Romania, 25-26 mai 2004
- [6] Serghei Palas, Natalia Beglet, *Rentabilitatea funcționării unei CET*, A III-a Conferința Națională de Echipament Termomecanic Clasic și Nuclear și Energetica Urbana, București, Romania, 1-2 iulie 2004, pp. 125-129.
- [7] Serghei Palas, *The Keys to Rapid and Cost Effective Thermo-economic Analysis of Heat Power Station*, Bacau, Romania, 24-25 octombrie 2003, pp.186-190.
- [8] Serghei Palaș, „*Studiu exergoeconomic de rentabilitate a funcționării unei centrale termoelectrice*”, Teza de doctor, 2005.

DESPRE AUTOR

Nume: PALAȘ

Prenume: SERGHEI

Data nașterii: 20 mai 1979, Florești, Rep. Moldova

Adresa: Str. M. Viteazul, 17, ap. 26, Florești, Rep. Moldova

Tel: (+373)79690802 E-mail: Serghei.Palas@gmail.com

Serghei.Palas@ugal.ro



Ocupațiile prezente:

- Lector Asistent, Universitatea Tehnică a Moldovei, Facultatea de Energetică, Catedra de Termotehnică și Management în Energetică;
- Doctorand, „Universitatea Dunărea de Jos”, Galați, România. Titlul tezei de doctorat: „*Studiu exergoeconomic de rentabilitate a*

funcționării unei centrale termoelectrice”.

Studii:

- 6 – 17 June, 2005, NATO Advanced Study Institute on Thermal Energy Storage for Sustainable Energy Consumption (TESSEC), Çeşme / İzmir, Turkey.
- 9-11 iunie 2004, Pentru Parteneriate Durabile între Universități și Societate Civilă, Science-Shop, INRO 2004, Universitatea Transilvania, Brașov.
- 10-19 iulie, 2003 - NATO Advanced Study Institute on Keys To Rapid and Cost Effective Hazardous Waste Site Investigation and Cleanup Galați, România,
- 1996-2001 - Universitatea Tehnică a Moldovei, Facultatea de Energetică, Catedra de Termotehnică, b-1 Ștefan cel Mare 168, Chișinău 2012, Moldova.

Activitatea didactică:

- Motoare termice;
- Centrale termoelectrice;
- Sisteme energetice;
- Instalații de transfer de căldură și masă;
- Metode numerice în termoenergetică;
- Proiectări asistate de calculator.

Domeniul de cercetare: Științe inginerești.

Cunoașterea limbilor: rusă – perfect, engleza – bine.