

ANALIZA EXERGETICĂ A PROCESELOR DIN REȚELELE PNEUMATICE MINIERE

Ioan Iulian IRIMIE

UNIVERSITATEA din Petroșani

Résumé. Dans l'ouvrage sont proposées des relations de calcul pour les composantes spécifiques du bilan exergetique pour l'écoulement de l'air comprimé dans des longs réseaux pneumatiques. On s'utilise des formes particulieres de l'équation Gouy-Stodola et de la fonction du Gibbs pour quantifier les pertes qui sont dues à les irréversibilités. En analysant les relations établies, on se déduit des mesures pour réduire les pertes d'exergie. Dans le final est proposée une relations pour le calcul du rendement exergetique d'un tronçon de réseau pneumatique.

În cazul particular, al curgerii aerului comprimat prin tronsoanele rețelei pneumatice miniere, principalele cauze ale ireversibilității interne și externe sunt:

a) pentru ireversibilitatea internă:

- caracterul nestatic al destinderii;
- frecări interne, între diferite porțiuni de fluid, între fluid și pereții conductei, frecările și șocurile datorate turbioanelor;
- condensarea umidității din aerul comprimat și obturarea parțială a conductei cu apa rezultată din condensare;
- amestecarea și omogenizarea amestecului aer umed - apă - ulei - praf - rugină;
- diferențele finite de presiuni și temperaturi care se produc între diferite zone ale fluidului

b) pentru ireversibilitate externă:

- schimbul de căldură, la diferențe finite de temperatură, între fluid și mediul exterior;
- transferul de materie, la diferențe finite de presiune, de la fluid la mediul exterior, datorită pierderilor de debit prin neetanșeități.

Utilizând următoarele notații: $M_{i,t}$ - debitul masic de aer comprimat intrat în tronson; $M_{e,t}$ - debitul masic de aer comprimat ieșit din tronson; $M_{m,t} = M_{i,t} + M_{e,t}/2$ - debitul masic mediu vehiculat prin tronson; $\Delta M = M_{i,t} - M_{e,t}$ pierderea de debit masic prin neetanșeitățile tronsonului; $T_{a,c}$ - temperatura termodinamică absolută medie a aerului comprimat pe tronson; p_m - presiunea absolută medie a aerului comprimat pe tronson; s_0 - entropia specifică a mediului ambiant; s_m - entropia specifică medie a aerului comprimat pe tronson; i_m - entalpia specifică a aerului comprimat pe tronson, și ținând seama de precizările de mai sus, vom obține următoarea ecuație pentru bilanțul exergetic al unui tronson de conductă:

$$M_{i,t}e_{i,t} = M_{e,t}e_{e,t} + \Delta M e_m + M_{m,t}q_{ext} \left(1 - \frac{T_0}{T_{a,c}} \right) + M_{m,t}l_{fr} \frac{T_0}{T_{a,c}}, \quad (1)$$

Introducând în relația (1) expresia exergiei unui fluid în curgere, vom obține:

$$M_{i,t} [(i_1 - T_0 s_1) - (i_0 - T_0 s_0)] = M_{e,t} [(i_2 - T_0 s_2) - (i_0 - T_0 s_0)] + \Delta M [(i_m - T_0 s_m) - (i_0 - T_0 s_0)] + M_{m,t}q_{ext} \left(1 - \frac{T_0}{T_{a,c}} \right) + M_{m,t}l_{fr} \frac{T_0}{T_{a,c}} \quad (2)$$

Trecând termenul ce reprezintă exergia fluidului la ieșirea din tronson, în partea stângă a relației (2) și considerând că pierderile de debit prin neetanșeități au loc prin laminare adiabatică, variația energiei cinetice fiind neglijabilă, deci $i_m = i_0$, pierderile de exergie la curgerea aerului comprimat prin tronsonul de conductă analizat vor fi date de egalitatea:

$$M_{i,t}e_{i,t} - M_{e,t}e_{e,t} = \Delta M T_0 (s_m - s_0) + M_{m,t}q_{ext} \left(\frac{T_0}{T_{a,c}} - 1 \right) + M_{m,t}l_{fr} \frac{T_0}{T_{a,c}}, \quad (3)$$

Din relația (3), explicitând $s_m - s_0 = c_p \ln T_{a,c}/T_0 - R \ln p_m/p_0$, înlocuind l_{fr} cu $(1-x)l_{fr}$, precizând că $T_{a,c} = T_2 + T_1/2$ și prelucrând componenta mecanică a disipării exergetice prin frecare, vom obține, pentru pierderile de exergie pe tronsonul analizat următoarea relație:

$$\Delta E = E_{i,t} - E_{e,t} = \Delta M c_p T_0 \ln \left[\frac{T_{a,c}}{T_0} \left(\frac{p_0}{p_m} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right] + M_{m,t}q_{ext} \left(\frac{T_0}{T_{a,c}} - 1 \right) + M_{m,t}T_0 c_p \ln \frac{T_2}{T_1} + M_{m,t}T_0 R \frac{\Delta p}{p_1} + M_{m,t}T_0 R \frac{\Delta p_{ob}}{p_1} \quad (4)$$

Din expresiile termenului care ne dă pierderea de exergie datorită ireversibilității transferului termic dintre sistem și izvorul termic:

$$\Delta E_q = M_{m,t} \cdot q_{ext} \left(\frac{T_0}{T_{a,c}} - 1 \right) = \Omega_j K (T_0 - T_{a,c}) \left(\frac{T_0}{T_{a,c}} - 1 \right), \quad (5)$$

se observă că, în ipoteza menținerii constante a tuturor mărimilor ce intervin în expresie, pierderea de exergie ΔE_q este aceeași indiferent dacă sistemul evoluează la $T_{a.c} > T_0$ sau $T_{a.c} < T_0$, fapt explicabil, întrucât revenirea sistemului în starea de echilibru termic cu izvorul termic, de la temperaturi simetrice față de temperatura izvorului, implică aceeași pierdere de exergie.

Termenii din partea dreaptă a relației (4) reprezintă pierderile de exergie cauzate de fenomenele ireversibile care însoțesc curgerea aerului comprimat prin tronsoanele relației pneumatice miniere.

Analizând relația (4), se pot deduce o serie de măsuri tehnico-organizatorice capabile să reducă pierderile de exergie la limita minimă tehnico-economică.

Pentru reducerea pierderilor de exergie datorate neetanșeității rețelei pneumatice:

$$\Delta E = \Delta M c_p T_0 \ln \left[\frac{T_{a.c}}{T_0} \left(\frac{p_0}{p_m} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right], \quad (6)$$

pierderi care au ponderea cea mai mare – 65...75 % din totalul pierderilor, sunt oportune următoarele măsuri:

- reducerea continuă a pierderilor de debit prin neetanșeități;
- asigurarea unei temperaturi a aerului comprimat ($T_{a.c}$) pe tronson, cât mai apropiate de temperatura mediului ambiant (T_0), cu condiția $T_{a.c} < T_0$;
- asigurarea unei presiuni a aerului comprimat pe tronson, cât mai apropiate de presiunea mediului ambiant. În realizarea acestei măsuri se impun limitări datorită valorilor presiunilor necesare la consumatori, precum și datorită necesității reducerii termenului ΔE_p .

Reducerea pierderilor de exergie provocate de ireversibilitatea transferului termic dintre aerul comprimat și mediul ambiant

$$\Delta E_q = M_{m.t} \cdot q_{ext} \left(\frac{T_0}{T_{a.c}} - 1 \right) = \Omega_1 k (T_0 - T_{a.c}) \left(\frac{T_0}{T_{a.c}} - 1 \right), \quad (7)$$

se poate realiza prin următoarele măsuri:

- reducerea suprafeței laterale a tronsonului (Ω_1), măsură ce coincide și cu dezideratul impus de reducerea investițiilor reducându-se și ΔE_m , dar care duce la majorarea termenului ΔE_p , fapt care evidențiază necesitatea unui compromis în privința diametrului optim tehnico-economic;
- Reducerea coeficientului de transfer termic global (k);
- Asigurarea unei temperaturi, a aerului comprimat pe tronson, cât mai apropiate de temperatura mediului ambiant.

Pierderile de exergie datorită curgerii cu frecare:

$$\Delta E_p = M_{m.t} T_0 \left(c_p \ln \frac{T_2}{T_1} - R \ln \frac{p_2}{p_1} \right), \quad (8)$$

pot fi reduse prin:

- asigurarea unei presiuni cât mai ridicate a aerului comprimat pe tronson;
- reducerea pierderilor de presiune datorită frecării (Δp), prin majorarea diametrului tronsonului;
- reducerea pierderilor de presiune datorită obținării parțiale a conductei (Δp_{obt}) prin eliminarea umidității din aerul comprimat și curățirea ulterioară a conductelor în momentul montării;
- vehicularea aerului comprimat pe tronson la o temperatură cât mai ridicată, reducându-se astfel pierderea de exergie corespunzătoare pierderilor de lucru mecanic datorită frecărilor, conform relației $\Delta e = T_0 / T \cdot lfr$. Această măsură duce la majorarea considerabilă a celorlalte categorii de pierderi, fiind inoportună pentru rețelele pneumatice miniere.

Analiza exergetică se completează cu un indicator sintetic, adecvat pentru caracterizarea calității unei instalații termice, în sensul energiei termodinamice - randamentul exergetic.

Randamentul exergetic constituie o măsură a gradului de ireversibilitate a transformărilor care au loc într-o instalație termică, exprimându-se cantitativ cu ajutorul raportului dintre lucrul util (efectul exergetic util) și diferența exergiilor la intrarea și la ieșirea din instalație (exergia disponibilă):

$$\eta_{ex} = \frac{l_{util}}{e_i - e_e}, \quad (9)$$

În cazul particular al tronsoanelor rețelei pneumatice miniere, întrucât pe parcursul lor aerul comprimat nu produce lucru util, randamentul exergetic se definește prin intermediul relației:

$$\eta_{ex} = \frac{e_{e.t}}{e_{i.t}} = 1 - \frac{\Delta e}{e_{i.t}}, \quad (10)$$

Ținând seama de relația (4), expresia randamentului exergetic pentru un tronson de rețea pneumatică devine:

$$\eta_{ex} = 1 - \frac{\Delta M c_p T_0 \ln \left[\frac{T_{a.c}}{T_0} \left(\frac{p_0}{p_m} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right] + M_{m.t} q_{ext} \left(\frac{T_0}{T_{a.c}} - 1 \right)}{M_{i.t} [(i_1 - i_0) - T_0 (s - s_0)] + \frac{M_{m.t} T_0 c_p \ln \frac{T_2}{T_1} + M_{m.t} T_0 R \frac{\Delta p + \Delta p_{obt}}{p_1}}{M_{i.t} [(i_1 - i_0) - T_0 (s - s_0)]}} \quad (11)$$

Randamentul exergetic apreciază eficacitatea proceselor termice, referindu-se la potențialul termodinamic corespunzător stării mediului ambiant, fiind astfel o măsură a imperfecțiunii proceselor reale.

CONCLUZII

Analiza exergetică constituie un instrument de lucru cu pronunțat caracter practic, indicând calitatea termodinamică a unui sistem indiferent de mărimea sau

complexitatea sa și de natura fenomenelor care însoțesc evoluția sistemului analizat.

Randamentul exergetic oferă posibilități mai corecte și mai precise de studiu și de exprimare cantitativă a eficacității proceselor termice în comparație cu randamentul termic, în calculul căruia se consideră ca potențial termodinamic de referință starea corespunzătoare temperaturii de 0 K, fapt care face ca în expresia randamentului termic, pe lângă pierderile legate de imperfecțiunea proceselor, să apară și anergia mediului ambiant.

Diagnosticând eficacitatea termomecanică a unui sistem, analiza exergetică duce la depistarea imperfecțiunilor declanșatoare a lanțului de consecințe: ireversibilitate → disipare de energie → pierdere.

Prin identificarea defectelor termodinamice ale sistemelor, analiza exergetică permite evitarea unor erori de decizie, făcând posibilă adoptarea soluțiilor tehnice favorabile din punct de vedere termomecanic și eliminând o serie de soluții tehnice care par rentabile din punct de vedere financiar, dar care în realitate sunt defavorabile din punctul de vedere al economiei de energie.

Oferind posibilitatea optimizării funcționării și exploatării instalațiilor termice industriale, analiza exergetică evidențiază căile de combatere a risipei de energii primare prin reducerea în limitele unei eficacități termoeconomice a ireversibilității proceselor care au loc în instalațiile analizate.

BIBLIOGRAFIE

- [1] BEJAN A., *Termodinamică tehnică avansată*. Editura Tehnică, București, 1996.
- [2] DĂNESCU Al. ș.a., *Termotehnică și mașini termice*. E.D.P., București, 1985.
- [3] HOUBERECHTS A., *Thermodynamique Technique*. Dunod, Paris, 1970.
- [4] IRIMIE I.I., MATEI I., *Gazodinamica rețelelor pneumatice*. Editura Tehnică, București, 1994.
- [5] LECA A. ș.a., *Transfer de căldură și masă*. Editura Tehnică, București, 1998.
- [6] LEONĂCHESCU N., *Termotehnica*. E.D.P., București, 1974.
- [7] KIRILIN V., SYTCHEV A., SHEINDLIN A., *Termodinamică tehnică*. Editura Tehnică, București, 1980.
- [8] RADCENCO V., *Termodinamica generalizată*. Editura Tehnică, București, 1994.

**TECHNICAL UNIVERSITY "GH. ASACHI" IASI
ROMANIA
FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
THE FIRST INTERNATIONAL
CONFERENCE
8 - 10 JULY 2004
"ADVANCED CONCEPTS IN
MECHANICAL ENGINEERING"
"JUBILEE PROF. EMIL GAIGINSCHI"**



The dramatic changes in the perception of the mechanical systems, the complexity and the new standards in design process, reliability, new materials or technologies, give us the real dimension of the twenty-first century challenge for the mechanical engineer. The new mechanical systems are no more a simple collection of spear mechanical parts, which put together, give us a machine. Now this "machine" becomes more and more complex, regarding the materials, or this "machine" is connected to other kind of no mechanical systems.

The aim of this conference is to create the image of the mechanical systems for tomorrow, to open new research patterns, on the edge of different research fields, to promote innovation in all his forms.

The topics of the Conference are:

- mechanics machine design, tribology and vibrations
- mechatronics
- mechanics of deformable bodies
- automotive
- internal combustion engine, compressors and low-temperature technique
- termotechnics and thermal systems
- theory of mechanisms and machinery
- robotics
- techniques and technologies in agriculture and food processing

Final abstract date: 28 February 2004.

Final paper date: 30 May 2004.

Mail address:

Universitatea Tehnică "Gh. Asachi"
Facultatea de Mecanica, Bv. Prof. D. Mangeron,
nr. 59, 700050, IASI, ROMANIA
E-mail: decanat@mec.tuiasi.ro,
egolgoti@mec.tuiasi.ro Tel/fax: 0232.232337