

ANALIZA TERMODINAMICĂ A EFICIENȚEI APLICATOARELOR CU MICROUNDE

Vadim LAVRIC, Dan SPÎNU*

Departamentul Inginerie Mecanică, gr.MIFSC-191, Facultatea Inginerie Mecanică Industrială și Transporturi,
Universitatea Tehnică a Moldovei, Chișinău, Republica Moldova

*Autorul corespondent: Spînu Dan, e-mail: dan.spinu@pmai.utm.md

Rezumat. Analiza termodinamică bazată pe metoda exergie este o metodă de abordare energetică a studiului și dezvoltării sistemelor tehnice. Ea se folosește la instalațiile de încălzire dielectrică cu microunde, o astfel de analiză face posibilă obținerea de informații ample și foarte detaliate despre instalația în sine, atât despre sistemul tehnic și părțile instalației, cât și despre interacțiunea unui astfel de sistem cu un mediu de echilibru și alte obiecte situate în acest mediu. Desigur, pentru astfel de instalații, din toată varietatea de caracteristici, se calculează doar acei indicatori care sunt necesari pentru rezolvarea unei probleme tehnice specifice.

Cuvinte cheie: aplicator cu microunde, magnetron, exergie, tratare termică, oscilații electromagnetice, deshidratarea.

Introducere

Unul dintre principalele procese tehnologice în activitatea umană practică este tratarea termică a materialelor și obiectelor. Studiile moderne care folosesc metode electrofizice pentru a reduce durata tratamentului termic, inclusiv un proces atât de consumator de energie precum deshidratarea materialelor, au demonstrat eficacitatea utilizării oscilațiilor electromagnetice înalte și microunde. Încălzirea volumetrică realizată în acest caz face posibilă introducerea unei puteri specifice mari în produs, menținând în același timp calitatea ridicată a produsului prelucrat.

Energia cu microunde- este o sursă de căldură foarte convenabilă, care are avantaje indubitabile față de alte surse într-o serie de aplicații:

- Nu introduce poluare la încălzire, la utilizare energiei nu se ard produsele;
- Se încălzește cu viteze mari, cu toate acestea în material nu apar solicitări termomecanice distructive;
- Echipamentul generator este electronic și funcționează aproape fără inerție, datorită căruia nivelul puterii microundelor și momentul alimentării acestuia pot fi modificate instantaneu;

Structura instalației

Un cuptor cu microunde este alcătuit dintr-o cameră metalică în care sunt gătite alimente. Camera este echipată cu o usa care împiedică iesirea radiațiilor. Pentru încălzirea uniformă a alimentelor, în interiorul camerei este instalată o masă rotativă, care este antrenată de un motor-reductor (motor). Radiația cu microunde este generată de un magnetron și introdusă în cameră printr-un ghid de undă dreptunghiular. Pentru a răci magnetronul în timpul funcționării, se folosește un ventilator, care conduce aerul rece prin magnetron. În plus, aerul încălzit de la magnetron prin conducta de aer este trimis în cameră și este, de asemenea, folosit pentru încălzirea alimentelor. Prin orificii speciale neradiante, o parte din aerul încălzit și vaporii de apă sunt îndepărtați în exterior. Un magnetron este un tub electronic puternic care generează microunde atunci când un flux de electroni interacționează cu un câmp magnetic. Adică magnetronul creează microunde și este o componentă obligatorie a tuturor cuptoarelor cu microunde. Aceasta, putem spune cu siguranță - „inima” cuptorului cu microunde.

Analiza procesului

Analiza termodinamică este desăvârșirea oricărui sistem tehnic specific (inclusiv instalațiile de încălzire dielectrică cu microunde) care se realizează pe baza parametrilor termodinamici deja cunoscuți ai sistemului (obținuți fie în experiment, fie prin calcul în proiect). Numărul minim al acestor parametri ar trebui să fie astfel încât pentru studiu sistemului și oricare dintre părțile sale analizate să fie posibil să se întocmească: bilanțele materiale și bilanțele energetice. Dintr-un punct de vedere mai general, este necesar să existe date pentru bilanțuri care reflectă legea conservării materiei și legea conservării energiei (sub forma primei legi a termodinamicii) și, în final, a doua lege a termodinamicii (ca sumă a două legi – în care să fie o constantă a entropiei în procesele reversibile și creșterea acesteia în cele ireversibile) .

Ultimul tip de bilanț este exergia - care completează sistemul de ecuații și se bazează pe primele două balanțe. Principiul elaborării unor astfel de bilanțuri este descris detaliat, de exemplu, în [1,2,3]. Valorile incluse în bilanțul energetic total fac posibilă determinarea atât a eficienței energetice, cât și a eficienței exergice a obiectului studiat. Principiul calculului lor este același: trebuie să faceți un raport, în al cărui numărător este înlocuit efectul benefic corespunzător, iar numitorul este costul total al energiei sau exergiei, adică. Există mai multe oportunități de îmbunătățire a eficienței energetice și exergice și de economisire a resurselor energetice ale echipamentelor electrotermale. În [4,5] sunt prezentate câteva măsuri posibile care permit creșterea eficienței și productivității unei instalații electrotermice cu microunde. Bilanțul energetic complet oferă o imagine a distribuției energiei (exergie) de toate tipurile pe obiecte de consum, utilizarea efectiv de energie în aceste obiecte, se reprezintă ținând cont de pierderile în transportul resurselor energetice, materiilor prime tehnologice, produselor și deșeurilor.

O astfel de imagine leagă strâns schema tehnologică a procesului (fluxurile de materiale) cu fluxurile de energie (exergie) de toate formele și, prin urmare, poate servi ca bază pentru îmbunătățirea atât a nodurilor individuale, cât și a procesului (instalației) studiat în ansamblu. Informațiile de acest fel sunt utile nu numai specialiștilor care se ocupă de probleme de exploatare, ci și proiectanților care dezvoltă proiecte pentru construirea de noi centrale. Îi poate îndemna cu noi soluții pentru amenajarea echipamentelor, conducând la o reducere a pierderilor de energie pentru transportul resurselor energetice și a altor materiale, să contribuie la dezvoltarea unui set de măsuri care pot îmbunătăți eficiența energetică a producției în ansamblu datorită combinației raționale a fluxurilor de energie ale instalațiilor sale individuale.

Obiective

1. Optimizarea termodinamică a sistemului. O astfel de optimizare poate fi realizată la diferite niveluri, începând cu o alegere simplă a celor mai avantajoase moduri și parametri de funcționare ai instalației și până la o îmbunătățire radicală a sistemului cu înlocuirea elementelor de echipament sau chiar o modificare a structurii;
2. Optimizarea tehnico-economică a sistemului. O astfel de optimizare poate fi realizată și la diferite niveluri. Dar, în toate cazurile, necesită implicarea, împreună cu informații termodinamice obținute în urma analizei exergice, și anumite informații tehnice și economice. Metoda de utilizare comună a acestora este determinată de tipul de sistem și de natura sarcinii [1,5,6,7].

Utilitatea practică a rezultatului optimizării este determinată în cele din urmă, desigur, de considerente tehnice și economice. Cu toate acestea, optimizarea termodinamică în anumite condiții poate da același extrem al funcției obiectiv ca și cea tehnică și economică. În alte cazuri, poate restrânge semnificativ domeniul de aplicare al căutării unui optim tehnic și economic.

O cerință importantă este eficiența economică atât a aplicatorului, cât și a întregii instalații de microunde în ansamblu. Este necesară o metodă de evaluare a eficienței termice a instalațiilor cu microunde. O metodă bazată pe echilibrarea balanței energetice, luând în considerare pierderile electrice și termice în timpul tratamentului termic atunci când este furnizată energie probei.

Formule de calcul

$$P\tau = E_0 = \Delta E_{np} + \Sigma E_n \quad (1)$$

Unde: E_0 – consumul de energie electrică;

τ – timpul, s;

P – este puterea energiei electrice consumată, W;

ΔE_{np} – este energia utilizată în tratamentul termic, J;

ΣE_n – pierderi de energie în generatorul de câmp electromagnetic, J;

Pierderile de energie electrică pot fi exprimate prin valoarea randamentului electric:

$$\eta_{el} = 1 - \frac{\Sigma E_n}{E_0} \quad (2)$$

Transferul de energie în prezența unei diferențe finite de potențiale de transfer (temperatură, presiune, potențial chimic) este însoțit de pierderea acesteia ca urmare a ireversibilității, care nu ține cont de Ec.(1). În acest sens, este necesar să se calculeze pierderile folosind a doua lege a termodinamicii, unde energia care caracterizează performanța maximă a sistemului termodinamic este utilizată ca potențial termodinamic. Creșterea acestuia poate fi determinată de formula:

$$\Delta e = (h_1 - h_2) - T_0(S_1 - S_2) \quad (3)$$

Unde: $h_1 - h_2$ – entalpia specifică la începutul și sfârșitul procesului;

S_1 și S_2 – entropii sfecifice, $KJ \cdot (kg^{-1} \cdot K^{-1})$;

T_0 – temperature mediului ambient;

Creșterea exergiei (și anume partea sa operabilă în raport cu mediul):

$$\Delta E_{np} = G\Delta e \quad (4)$$

Unde: G – sarcina aplicatorului, kg ;

În cazul ireversibilități procesului ec.(4) ia forma:

$$\Delta E_{np} = G\Delta e + T_0\Delta S \quad (5)$$

Unde: ΔE_{np} – este creșterea totală a entropiei cauzată de ireversibilității;

Acum aflăm eficiența excentrică a procesului din Ec.(4) și Ec.(5), va fi:

$$\eta_e = \frac{G_i\Delta e}{\Delta E_{np}} = 1 - \frac{T_0\Delta S}{\Delta E_{np}} \quad (6)$$

Exergia călduri are cea mai mica valoare:

$$\Delta E_Q = Q\left(1 - \frac{T_0}{T}\right) \quad (7)$$

Exergia energiei electrice este determinată de formula:

$$\eta_{el} = 1 - \frac{T_0}{T} \quad (8)$$

Bilanțul exergic al fluxului de energie se va scrie sub formă de valori relative:

$$\eta_0 = 1 - (\beta_1 + \beta_2 + \beta_3) \quad (9)$$

Unde: η_0 – reprezintă fluxul total de energie în sistemul termodinamic;

$\beta_1 + \beta_2 + \beta_3$ – este ponderea pierderilor de exergie datorate distorsiunii ireversibile a călduri și a masei, asupra mediului și în sistemul generator SCA, care se află cu ajutorul formulelor:

$$\beta_2 = \frac{\Delta E_{\beta 2}}{\Delta E_{np}} \quad (10)$$

$$\beta_3 = \frac{\Delta E}{\Delta E_{np}} \quad (11)$$

$$\Delta E_{\beta 2} = Q \left(1 - \frac{T_0}{T_m}\right) \quad (12)$$

$$Q = \frac{\alpha S' (T_{np} - T_0)^2}{T_{np}} \quad (13)$$

Unde: S' – suprafața de schimb de căldură, m^2 ;

α – coeficientu schimbului de căldură, $W / m^2 \cdot K$;

$T_m; T_{np}$ – temperatura produsului, K , și temperatura maximă a încălzitorului, K ;

Determinăm pierderile exergiei în sistemul generator de microunde:

$$\Delta E_{\beta 3} = P_{el} (1 - \eta_{el}) \tau \quad (14)$$

Creșterea exergiei materialului în regimuri izobare se va scrie astfel:

$$de = C_{np} dT - C_{np} T_0 \frac{dT}{T} \quad (15)$$

Sau

$$\Delta e = C_{np} (T_2 - T_1) - C_{np} T_0 \ln \frac{T_2}{T_1} \quad (16)$$

Pentru procesele de deshidratare, Ec.(16) este utilizată sub forma:

$$\Delta e = C_{np} (T_2 - T_1) - C_{np} T_0 \ln \frac{T_2}{T_1} - (\Delta h + \frac{T_0}{T_f} 2) \varepsilon_f \quad (17)$$

Unde: T_f – temperatura unică de tranziție, K ;

ε_f – criterial unic de conversie;

Coeficientul de acțiune al dispozitivului, raportul dintre energia absorbită de obiectul prelucrat și energia furnizată dispozitivului, se va scrie astfel:

$$\eta_{dp} = \frac{G[C_{np}(T_{np} - T_0)g_i + (1 - g_i)2 * \varepsilon_f]}{E_0} \quad (18)$$

Unde: g_i – ieșirea produsului finit, kg / kg ;

Ecuția (18) poate fi scrisă ca:

$$\eta_{dp} = [\eta_e - (\beta_2 + \beta_3)] \eta_{el} \quad (19)$$

Ținând cont de relația Ec.(1) și Ec.(19), obținem valoarea absorbției specific de energie, $KJ \cdot kg^{-1}$;

$$E_{dp} = \frac{1}{\eta G} (\Delta E_{np} - T_0 \Delta S - \Delta E_{\beta 2} - \Delta E_{\beta 3}) \quad (20)$$

Valoarea creșterii entropiei sistemului în timpul tratamentului termic la presiune constantă:

$$\Delta S = G(C_{np} * \ln \frac{T_2}{T_1} + \frac{2}{T_f} \varepsilon_f) \quad (21)$$

Unde: T_1, T_2 – temperatura inițială și finală ale produsului, K ;

Folosind relațiile Ec.(20) și Ec.(21) este destul de rezonabil din punct de vedere termofizic să se estimeze caracteristicile diferitelor instalații care utilizează încălzirea cu microunde.

Concluzii

Informațiile de acest fel sunt utile nu numai specialiștilor care se ocupă de probleme de exploatare, ci și proiectanților care dezvoltă proiecte pentru construirea de noi centrale. Îi poate îndemna cu noi soluții pentru amenajarea echipamentelor, conducând la o reducere a pierderilor de energie pentru transportul resurselor energetice și a altor materiale, să contribuie la dezvoltarea unui set de măsuri care pot îmbunătăți eficiența energetică a producției în ansamblu datorită combinației raționale a fluxurilor de energie ale instalațiilor sale individuale.

Mulțumiri. Autorii aduc sincere mulțumiri conducătorului științific, Domnului profesor universitar Ivanov Leonid, pentru sprijin și ghidare în implimentarea acestui proiect.

Referințe

1. Novozhilov Iu.V., Yappa Iu.A. — *Electrodinamika:nauka*, 1976.
2. Putner G.,- *Nagrev enrgiei sverhvisochih cistot:enrgia*, 1968.
3. Архетелнкий Ю.Г., Девятник И.И., *Сверхвысокочастотные нагревательные установки для интефикации технологических процессов*, 1983.
4. Grigoriev A.D., — *Electrodinamica și tehnologie cu microunde*, 1990.
5. Карлинер ММ. - *Электродинамика СВЧ*, 2006.
6. Titova L.K., -*Electromagnitnoe izlucenie- vred ili polza*, 2014.
7. Вайнштейн Л. А., *Электромагнитные волны. М.: Радио и связь*, 1988.
8. Теория линий передачи сверхвысоких частот. М.: Сов. радио, 1951.
9. Каценеленбаум Б. З., *Высокочастотная электродинамика. М.: Наука*, 1966.
10. Микаэлян А. Л., *Теория и применение ферритов на сверхвысоких частотах. М.,Л.: Госэнергоиздат*, 1963
11. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М., *Электродинамика сплошных сред. М.: Наука*, 1982. *Альтман Дж. Устройства СВч. Мир*, 1968