

MILAN ŠAREVSKI¹
VASKO ŠAREVSKI²
VOISLAV RISTOVSKI³
NIKOLA STAVREV³

¹Mašinski fakultet, Skopje
²MZT IRI Inženjering, Skopje
³A.D. "Komuna", Skopje,
Makedonija

STRUČNI RAD

676.05+621.694.2

ENERGETSKE I EKSPLOATACIONE KARAKTERISTIKE DVOFAZNOG EJEKTORSKOG VAKUUM SISTEMA UGRAĐENOG NA PAPIR MAŠINI U A.D. "KOMUNA" SKOPJE

Prezentiran je koncept dvofaznog vodeno-vazdušnog ejektorskog vakuum sistema. Razrađene su energetske karakteristike ovih sistema i izvršena je komparativna analiza sa mehaničkim vakuum pumpama sa vodenim prstenom i sa turbokompresorskim vakuum pumpama. Prezentirana je metodologija optimizacije dvofaznih termokompresorskih vakuum sistema. Analizirane su eksploatacione karakteristike izvedenog sistema u A.D. "Komuna" Skopje.

Tehnologija sušenja na papir mašini zahteva postizanje određenog vakuuma za prethodno izvlačenje vode iz papirne mase. Intenzitet vakuuma je različit u pojedinim segmentima papir mašine i kreće se od 0,2 do 0,7 bara. Intenzitet vakuuma predstavlja značajan faktor za efikasno sušenje, za kvalitet sušenog papira, kao i za produktivnost odnosno za kapacitet papir mašine.

Konvencionalni vakuum sistemi u papirnoj industriji izvedeni su sa mehaničkim vakuum pumpama sa vodenim prstenom, a za veće kapacitete sa turbokompresorskim vakuum pumpama.

Operacija sušenja papira predstavlja veoma značajnog potrošača električne energije. Najveći deo instalirane električne snage je za elektromotorni pogon vakuum pumpi. Troškovi za električnu energiju zauzimaju značajan procenat u ceni finalnog proizvoda.

Energetska efikasnost vakuumskih sistema predstavlja značajan činilac za efikasnost proizvodnje papira.

Uvođenjem dvofaznih vodeno-vazdušnih ejektorskih vakuum sistema može se povećati energetska efikasnost, poboljšati eksploataciona karakteristika i smanjiti troškovi za održavanje vakuum sistema.

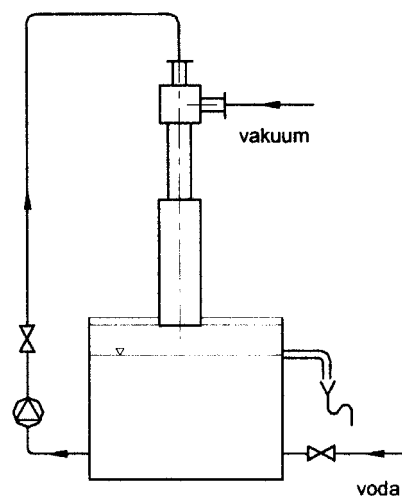
Osnovna teorija gasne dinamike i hidrodinamike, kao i teorija termokompresora, odnosno parnih i gasnih ejektora razrađena je u literaturi [1–3]. Savremeni intenzivni razvoj kompjuterske tehnike i numeričkih metoda doveli su do razvoja kompjuterske gasne dinamike koja se može primeniti za proračun 3D nestacionarnog viskoznog transoničnog strujanja u termokompresorima.

Aktivnosti na Mašinskom fakultetu u Skopju i MZT IRI Inženjering, Skopje u oblasti gasne dinamike, turbokompresora i termičkih sistema dovele su do značajnih teoretskih i praktičnih rezultata [4–8] u oblasti primene termokompresije u parnokondenznim sistemima, kao i u procesnoj tehnici, u sistemima i procesima pod vaku-

umom (industrija prerade ulja – deodorizatori, sušači, hladnjaci; prehrambena industrija – koncentratori i dr.).

ENERGETSKE KARAKTERISTIKE DVOFAZNIH EJEKTORSKIH SISTEMA

Principijelna šema dvofaznog vodeno-vazdušnog ejektorskog vakuum sistema prikazana je na slici 1.



Slika 1. Principijelna šema dvofaznog vodeno-vazdušnog ejektorskog vakuum sistema

Figure 1. Scheme of a two-phase water-air ejection vacuum system

Pogonska energija za kompresiju obezbeđuje se vodenim pumpama. U ejektoru (termokompresoru) voda na izlazu iz primarne mlaznice usisava vazduh iz vakuumskog sistema. Dvofazna struja u mešačkoj komori i u difuzoru termokompresora komprimira se do atmosferskog pritiska. Održavanjem temperature vode u rezervoaru u granicama od 30–40°C ostvaruje se približno izotermno komprimiranje. Sa energetskeg aspekta izotermna kompresija predstavlja najefikasniji proces komprimiranja. Maseni protok primarne struje (vode) u odnosu na sekundarnu struju (vazduha) znatno je veći,

Adresa autora: M. Šarevski, Mašinski fakultet Skopje, P.O. Box 464, 1000 Skopje, R. Makedonija.

Rad primljen: April 28, 2004

Rad prihvaćen: Maj 22, 2004

sto doprinosi povećanju energetske efikasnosti kompresije.

Specifičan rad za izotermno komprimiranje je,

$$l_T = RT_1 \ln \Pi$$

dok za politropsko komprimiranje u turbokompresoru specifičan rad je:

$$l_r = \frac{k}{k-1} RT_1 \left[\Pi^{\frac{n-1}{n}} - 1 \right]$$

T_1 [K] – temperatura na usisu,

$R = 287$ [J/kgK] – gasna konstanta vazduha,

$k = 1,4$ – adijabatska eksponent,

n – politropski eksponent,

$P = p_{at}/p$ – stepen kompresije,

$p_{at} = 1$ bar – atmosferski pritisak,

$p = p_{at} - p$ – pritisak na usisu,

p_v – vakuum.

Za intenzitet vakuuma $p_v = 0,7$ bar kod izotermnog komprimiranja troši se za 63% manja snaga za komprimiranje u odnosu na politropsko komprimiranje u turbokompresoru.

Izotermna snaga za komprimiranje je:

$$P_T = M l_T$$

$M = V r$ [kg/s] – maseni protok vazduha,

$r = p/RT$ [kg/m³] – gustina vazduha na usisu,

V [m³/s] – kapacitet vakuum pumpe.

Izotermni koeficijent korisnosti je:

$$\eta_T = \frac{P_T}{P_r}$$

P_r [kW] – realna snaga za komprimiranje.

Zbog prethodno navedenih karakteristika procesa komprimiranja u dvofaznom ejektoru: izotermno komprimiranje; znatno veći maseni protok primarne struje (vode) u odnosu na sekundarnu struju (vazduha) u ejektoru, optimizacijom strujnog prostora ejektora i kvalitetnom izradom vitalnih elemenata ejektora (primarne i sekundarne mlaznice, mešaćke komore i difuzora), kod dvofaznih vodeno-vazдушnih termokompresora postiže se izotermni koeficijent korisnosti

$$\eta_T = 0,5 \div 0,6$$

Specifična potrošnja električne energije kod ovih sistema je 30÷50% manja u odnosu na mehaničke vakuum pumpe sa vodenim prstenom.

Mehaničke vakuum pumpe rade sa niskim koeficijentom korisnosti $\eta = 0,2 \div 0,3$. Koeficijent korisnosti kod njih je izuzetno nizak za veći intenzitet vakuuma ($p_v = 0,6 \div 0,7$ bar).

Izvedbom turbokompresora sa međustepenim hlađenjem kod velikih turbokompresorskih vakuum pumpi mogu se postići relativno visoki izotermni koeficijenti korisnosti $\eta_T = 0,5 \div 0,6$.

Dvofazni ejektorski vakuum sistem na papir mašini u A.D. "Komuna" Skopje izveden je od tri jedinice, integrirane u jednom sistemu. Kapacitet sistema je 3x17 m³/min, intenzitet vakuuma $p_v = 0,7$ bara, instalirana moć elektromotora je 3x22 kW.

METODOLOGIJA OPTIMIZACIJE DVOFAZNIH EJEKTORSKIH SISTEMA

Tehnološkim zahtevima definišu se projektni uslovi: kapacitet termokompresora, intenzitet vakuuma i sastav odsisnih gasova.

Proračun osnovnih dimenzija protočnog prostora termokompresora vrši se na osnovu teorije jednodimenzionalnog strujanja. Osnovni zakoni održavanja mase, impulsa i energije za stacionarno strujanje su:

– energetska jednačina za adijabatsko strujanje,

$$\Sigma M_i \left(h_i + \frac{c_i^2}{2} \right) = \Sigma M_e \left(h_e + \frac{c_e^2}{2} \right)$$

– jednačina impulsa,

$$p_i \cdot A_i + \Sigma M_i \cdot c_i = p_e \cdot A_e + \Sigma M_e \cdot c_e$$

– jednačina kontinuiteta:

$$\Sigma p_i \cdot c_i A_i = \Sigma p_e \cdot c_e A_e$$

Za optimalno profiliranje strujnog prostora termokompresora (primarne i sekundarne mlaznice, mešaćke komore i difuzora) koriste se matematički modeli trodimenzionalnog strujanja, kao i eksperimentalni rezultati.

Značajan faktor u optimizaciji dvofaznog ejektorskog vakuuma sistema je izbor optimalnog pumpnog agregata u odnosu na: protok, pritisak i koeficijent korisnosti. Izvršena su eksperimentalna istraživanja na dvofaznim ejektorima sa različitim geometrijom strujnog prostora, pri različitim karakteristikama pumpnog agregata (protoka i pritiska). Utvrđeno je da optimalan oblik strujnog prostora termokompresora i performanse termokompresora direktno zavise od protoka i pritiska pumpe. Povišenje pritiska iznad određenog optimalnog pritiska dovodi do smanjenja energetske efikasnosti sistema. Frekventnom regulacijom pumpe može se postići optimalno vođenje procesa za različiti intenzitet vakuuma.

EKSPLOATACIONE KARAKTERISTIKE DVOFAZNOG EJEKTORSKOG SISTEMA

Na osnovu jednogodišnjeg rada dvofaznog vodeno-vazдушnog ejektorskog vakuuma sistema instaliranog na papir mašini može se konstatirati da se ejektorski sistem uspešno uklopio u vakuum sistem na papir mašini.

Hlađenje vakuumske sistema sa bunarskom vodom sa izuzetno visokom tvrdoćom (>24 dH) pokazalo se problematičnim. Intenzivno taloženje kamenca na vodenim pumpama, instalaciji i na ejektorima dovodilo je do blokade rada sistema. Problemi sa taloženjem kamenca rešeni su izvedbom zatvorenog recirkulacionog

sistema za hlađenje sa rashladnom kulom. Ugradnjom recirkulacionog sistema za hlađenje izvršena je i znatna ušteda vode za hlađenje.

Nivo buke kod ejektorskih sistema je znatno niži u odnosu na mehaničke vakuum pumpe sa vodenim prstenom.

Ejektorski sistemi su jednostavniji u eksploataciji, rukovanju i održavanju u odnosu na druge sisteme.

ZAKLJUČCI

Dvofazni vodeno-vazdušni ejektorski vakuum sistem uspešno je primenjen na papir mašini. Energetska efikasnost dvofaznih ejektorskih vakuum sistema je 30÷50% veća u odnosu na mehaničke vakuum pumpe sa vodenim prstenom. Dvofazni ejektorski vakuum sistemi su jednostavniji u eksploataciji.

Optimalan oblik strujnog prostora termokompresora i performanse termokompresora direktno zavise od protoka i pritiska pumpe. Povišenje pritiska iznad određenog optimalnog pritiska dovodi do smanjenja energetske efikasnosti sistema. Frekventnom regulacijom pumpe može se postići optimalno vođenje procesa za različiti intenzitet vakuuma.

OZNAKE

- A – površina
- c – brzina
- h – entalpija
- l – specifičan rad
- M – maseni protok
- p – pritisak
- P – snaga

- V – zapreminski protok
- η – koeficijent korisnosti
- ρ – gustina

INDEKSI

- i – ulaz
- e – izlaz
- T – izotermni
- r – realan

LITERATURA

- [1] Loicjanskii L.G., *Mehanika zirkosti i gaza*, Nauka, Moskva (1973)
- [2] Abramovič G. N. *Prikladnaja gazovaja dinamika*, Nauka, Moskva (1969)
- [3] Nigam B., *Ejectors*, Atlas Copco, Stochkiom (1975)
- [4] Šarevski M., Influence of the new refrigerant thermodynamic properties on some refrigerating turbocompressor characteristics, *International Journal of Refrigeration*, Vol. 19, No. 6 (1996)
- [5] Šarevski M., Improvement of the efficiency of the compressor refrigerating machines, heat pumps, cryogenic systems and geothermal power plants with ejector and turboexpander technology, Brussels, Belgium (1996)
- [6] Šarevski M., Šarevski V., Turkulov J., Mihajlov Z., Popov M., Optimizacija termo-kompresorskih sistema i primena u fabrici ulja "Brilijant" Štip, 41. Savetovanje, Proizvodnja i prerada uljarica, Miločer (2000)
- [7] Šarevski M., Šarevski V. Karakteristiki na termokompresorskite vakuum sistemi primeneti vo tehnologijata za rafiniranje na maslo, Osmo sovetovanje "DTRM"01", Ohrid (2001)
- [8] Šarevski M., Šarevski V., Ristovski V., Stavrev N., Energetska efikasnost termičkih sistema sa termokompresijom i energetski efekti u fabrici papira A.D. "Komuna" Skopje, VIII Jugoslovenski simpozijum iz oblasti celuloze, papira, ambalaže i grafike, Zlatibor (2002)

SUMMARY

ENERGETIC AND EXPLOITATION CHARACTERISTICS OF A TWO-PHASE EJECTING VACUUM SYSTEM BUILT IN THE PAPER MACHINE AT A.D. KOMUNA SKOPJE

(Professional paper)

Milan Šarevski¹, Vasko Šarevski, Voislav Ristovski³, Nikola Stavrev³

¹Faculty of mechanical engineering, Skopje, ²MZT IRI Engineering, Skopje, ³A.D. "Komuna", Skopje, Makedonija

This work presents the concept of a two-phase ejecting vacuum system. The energetic characteristics of these systems were analyzed and compared to those with mechanical pumps with water ring and turbocompressor vacuum pumps. A method for optimizing a two-phase thermocompressor vacuum systems is presented. The analysis included the exploitation characteristics of the system developed at A.D. "Komuna" Skopje.

Key words: Thermocompressor • Vacuum system • Two-phase ejector • Energy efficiency •
 Ključne reči: Termokompresor • Vakuum sistem • Dvofazni ejektor • Ejektorska efikasnost •