

chávaním spalin, který poskytuje plochý profil průměrné teploty spalin od stropu pece.

### Závěr

Matematický model založený na aplikaci zonální metody pro simulaci tepelné chemických dějů v radiální komoře pece parního reformingu prošel řadou vývojových stupňů a je neustále zpřesňován.

Hlavním zdrojem informací pro hodnocení reálnosti výsledků výpočtů je průběžně prováděné měření na provozní jednotce. Dosažené poměrně dobré shody hlavních sledovaných charakteristik primárního reformeru, získaných provozním měřením a výpočty pomocí modelu „D“, umožňuje postupně používat vypracovaný model pro výpočty radiální komory primárního reformeru v projekční praxi<sup>7)</sup>.

### Literatura

1. Stehlík P., Šika J., Běbar L.: Chem. prům. 56, — (1986), —
2. Horák J.: Zpracování matematických modelů pro parní stupně metanu, resp. směsi metanu s uhlovlodíky do C<sub>4</sub>, zpráva č. 81634/11, VŠCHT Praha (1983).
3. Běbar L., Stehlík P., Fiedler L.: Parametrická citlivost matematického modelu pro výpočet radiální komory primárního reformeru, zpráva 609/666, VÚCHZ Brno, 1982.
4. Šika J.: Zdokonalené matematické modely pro vyšetřování přenosu tepla v radiální komoře pece primárního reformeru a jejich ověření, zpráva č. 83-06001, SVUŠS Praha, (1983).
5. Stehlík P., Běbar L., Lukáš P., Šika J.: Konfrontace výpočtů primárního reformeru s výsledky provozního měření parního reformingu, 36. konference CHISA 83, Štrbské Pleso, (1985).
6. Běar J. M., Chieier N. A.: *Combustion Aerodynamics*, Applied Science, London, (1975).
7. Stehlík P., Běbar L.: Výpočet harních charakteristik radiace reformingové pece vodíkatými komplex hydrokraku pro n. p. Slovnaft Bratislava, zpráva č. 609/886, VÚCHZ Brno, (1984).
8. Jeníček P., Tomáškova J.: Měření potrubných teplot trubek parního reformingu u zpráva č. 609/812, VÚCHZ Brno (1984).

## Dvoustupňové odplynění napájecí vody kotlů na výrobu páry

Jan Bartoň,

Chemopetrol, k. ú. o. Výzkumný ústav anorganické chemie, Ústí nad Labem,

Luděk Dvořák, Jaroslav Růžička, Jiří Nájemník,

Chemopetrol, k. p. CHZ ČSSP Litvínov

Redakci došlo 19. 3. 1986

621.167.124

V článku je popsáno dvoustupňové odplynění napájecí vody kotlů na výrobu páry, které lze s výhodou využívat v parních systémech s kombinovaným použitím páry pro pohon v turbínách a pro ohřev ve výměnících s nestálým výkonem. Princip dvoustupňového odplynění spočívá ve využití nízkotlaké páry s regulovatelným tlakem pro ohřev ve výměnících a pro první stupeň odplynění, zatímco druhý stupeň odplynění využívá nízkotlakou páru o konstantních parametrech o vyšším tlaku než stupeň první. Výhody dvoustupňového odplynění napájecí vody jsou demonstrovány na příkladu jednodušeho parního systému.

### Úvod

Zabránit kyslíkové depolarizaci, která způsobuje vážné korozní problémy parních vyvíječů a potrubních tras vystavených expozici kyslíku rozpustěného ve vodě, je hlavním cílem odplynění (deacerae, deoxidace) napájecích vod parních kotlů. Požadavky na kvalitu napájecí vody jsou dány normami ČSN 07 7402 a ČSN 07 7401. Podle těchto norem nesmí koncentrace kyslíku v napájecí vodě kotelů na výrobu např. vysokotlaké páry nad 9,6 MPa přesáhnout 10 ppb. Nízká koncentrace kyslíku v napájecí vodě se dosahuje jednak odplyněním napájecí vody v tzv. odplyňovačích, v nichž se napájecí voda ohřívá přímým stykem s protiproudě vedenou nízkotlakou párou, která v zařízeních z převážné části zkondenzuje. Po odplynění napájecí vody v odplyňovači se k napájecí vodě přidávají některé chemické sloučeniny, jako např. hydrizin, který se za podmínek při výrobě páry (200–350°C) oxiduje kyslíkem zbylým ve vodě.

Deoxidaci napájecích vod kotlů na výrobu páry se věnuje neustálá pozornost. V literatuře se objevují nové způsoby deoxidace. Příkladem rozpracování hydrazinové deoxidace mohou být např. práce<sup>1)</sup>, kde se účinek hydrzinu aktivuje přítomností Co-komplexu<sup>2)</sup>, která pro deoxidaci napájecí vody používá dihydrotetrazinu. Objevují se však i publikace, popisující použití netradičních chemikálií pro tyto účely,

jako je např. práce<sup>3)</sup>, v níž se pro deoxidaci napájecí vody používá kyseliny askorbové. Jsou navrhovány<sup>4)</sup> nové konstrukce odplyňovačů, tzv. diskového typu, které snižují spotřebu páry pro dosažení požadované koncentrace kyslíku ve vodě.

Systémový přístup k problému odplynění napájecí vody je předmětem předložené práce.

### Rozbor problému

Parní systém<sup>5)</sup> chemické výroby je obvykle tvořen několika tlakovými hladinami páry (vysokotlaká, středotlaká, nízkotlaká pára). Mezi těmito hladinami jsou sice přímé redukce umožňující redukovat páru o vyšším tlaku na hladinu s nižším tlakem; pára o vyšších tlacích se však obvykle používá k pohonu čerpadel, kompresorů pomocí turbín i k ohřevům technologických médií. Pára o nejnižším tlakovém stupni (nízkotlaká pára) se využívá k technologickým účelům, ale i k vytápění potrubních tras a zásobníků tuhneoucíh látek a v neposlední řadě k odplynění napájecí vody.

Odplyňovač napájecí vody (obr. 1) je konstruován tak, že na ležaté válcové nádobe (zásobníku Z) je umístěna stripovací kolona S. Neodplyněná napájecí voda 1 se přivádí na první patro stripovací kolony shora. Nízkotlaká pára 2 se nastříkuje do paty stripu, kondenzuje a kondenzační teplo páry ohřívá neodply-

něnou napájecí vodu k bodu varu. Na hlavě striperu je redukční ventil, kterým malá část páry spolu s plyny uvolněnými z vody odchází proudem 3 do atmosféry. Ze stripovací kolony natéká napájecí voda do zásobníku, který může být opatřen barbotáží, tj. probubláváním nízkotlakou párou. K odplynění napájecí vodě (4) se přidává hydrazin (5), který snižuje koncentraci kyslíků ve vodě chemickou reakcí ve vyšších páry.

Vazba nejnižší tlakové hladiny páry na odplyňovač napájecí vody přináší jisté nevýhody. Rozhodující podmínkou ustálené činnosti odplyňovače napájecí vody je stabilní tlak nízkotlaké páry použité pro odplynění. Kólsání tlaku páry se negativně promítá do kólsání koncentrace kyslíku v napájecí vodě.

Nízkotlaká pára je obvykle odebrána z výfuku turbín využívajících středotlakou páru pro pohon čerpadel, kompresorů nebo generátorů elektrické energie. Udržení konstantního výkonu těchto strojů podle technologických požadavků znamená pro konstantní stavy páry na vstupu a výstupu z turbín konstantní spotřebu páry pro pohon turbín. Spotřeba páry na nejnižším tlakovém stupni odebrání z turbín však může vykazovat technologické či sezónní změny. V letních podmínkách by bylo možné snížit přívod nízkotlaké páry pro vytápění potrubních tras látek, u nichž existuje nebezpečí zatumnění v potrubí, rovněž tak snížit množství páry pro vytápění tanků, v nichž se tyto látky skladují. Je možné rovněž odstavit topení budov ap. Je nutné rovněž zvážít i případnou racionalizaci spotřeby páry na nejnižší tlakové hladině páry, která může vést k významnému snížení spotřeby nízkotlaké páry proti projektovým hodnotám.

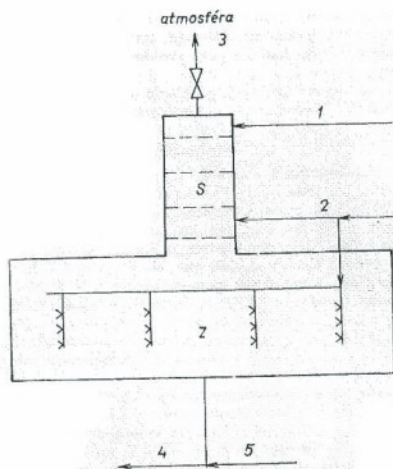
V případě konstantního výfuku nízkotlaké páry z turbín při konstantním výkonu strojů, které jsou turbínami poháněny, může v parním systému vznik-

nout za uvedených okolností stav charakterizovaný přebytky nízkotlaké páry, která se musí buď účelově chladit, nemá-li pro ni jiné vhodné použití, nebo v extrémních případech dokonce odpouštět do atmosféry.

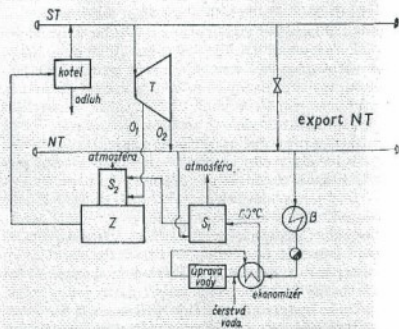
Problém tedy spoívá v tom, že při současném způsobu zapojení odplyňovače napájecí vody na nejnižší tlakovou hladinu páry nelze tlak nízkotlaké páry významně měnit vzhledem k požadavku ustálené činnosti odplyňovače. V případě snížení výkonu spotřebičů nízkotlaké páry z technologických či jiných důvodů vznikají v parním systému přebytky páry. Jednou z možností, jak řešit tuto situaci, je použít dvoustupňové (v praxi dvoustupňové) odplynění napájecí vody.

### Dvoustupňové odplynění napájecí vody

Na obrázku 2 je schéma jednoduchého parního systému, který sestává ze dvou tlakových úrovní páry, a to středotlaké páry  $ST$  a nízkotlaké páry  $NT$ . Středotlaká pára se spotřebává v turbíně  $T$  mající 2 odběry nízkotlaké páry. Odběr  $O_2$  pracuje s regulovatelným tlakem nízkotlaké páry, který je vždy menší než tlak odběru  $O_1$ . Na tlakové regulovatelný subsystém nízkotlaké páry  $NT$  jsou napojeny jednak spotřebiče  $B$  (ohříváky, doprovodná topení a jiné výměníky tepla) a jednak první stupeň odplynění napájecí vody  $S_1$ , což je v podstatě stripovací kolona otevřená přes redukci na hlavě kolony do atmosféry. Do kolony  $S_1$  natéká na první patro shora upravená směs kondenzátu nízkotlaké páry a čerstvé vody (tzv. demineralizovaná voda) z ekonomizéru. V němž se využívá tepla kondenzátu nízkotlaké páry. Pára se nastříkává do paty kolony  $S_1$ , v koloně kondenzuje a malá část páry spolu s prvními podíly plynných obsažených v nástříku vody do striperu odchází do atmosféry. Vodná fáze opouštějící patu striperu  $S_1$  se vede do odplyňovače shodné konstrukce jako na obrázku 1. Nízkotlaká pára použitá k odplynění v odplyňovači  $S_2$  je vedena z odběru  $O_1$  turbíny  $T$  a má konstantní tlakové parametry. Dvoustupňové odplynění napájecí vody za-



Obr. 1. Schéma odplyňovače napájecí vody



Obr. 2. Schéma parního systému s kombinovaným použitím páry

Tabulka I  
Výsledky simulačních výpočtů parního systému s proměnným tlakem NT-páry

tlak NT-páry [MPa]	výkon T [MW]	výkon B [MW]	výroba ST-páry [kg h <sup>-1</sup> ]	spotřeba NT-páry do S <sub>1</sub> [kg h <sup>-1</sup> ]	spotřeba páry do odplyňovače S <sub>2</sub> [kg h <sup>-1</sup> ]	export NT-páry [kg h <sup>-1</sup> ]
0,4	9,0	79	150 600	21 600	740	0
0,35	9,0	74	140 500	18 900	2 150	0
0,3	9,0	69	131 900	16 500	3 400	0
0,25	9,0	66	124 400	14 400	4 500	0
0,4	9,0	66	150 600	21 600	740	21 600

chová konstantní teplotu napájecí vody odcházející do kotlů na výrobu páry. Navíc umožňují regulací tlaku v subsystému nízkotlaké páry regulovat množství této páry tak aby změnou výkonu spotřebičů B nevznikaly v systému přebytky nízkotlaké páry.

## Příklady modelových výpočtů

Předpokládáme parní systém znázorněný na obrázku 2. Tlak vyráběné středotlaké páry je 1,5 MPa, teplota 294 °C. Turbína T má výkon 9 MW. Tlak v odběrovém místě O<sub>1</sub> je 0,42 MPa, teplota 195 °C. Tlak na výfuku z turbíny v místě O<sub>2</sub> může kolísat v rozmezí 0,25 až 0,4 MPa. Předpokládáme, že změna prosazení páry v turbíně neovlivňuje termodynamickou účinnost turbíny, tj. v diagramu  $i-s$  vodní páry<sup>6)</sup> má pracovní čára turbíny (spojnice stavu páry na vstupu a výstupu z turbíny) stále stejnou směrnici.

Byl sestaven bilanční model parního systému se vstupními parametry výkonu turbíny T a spotřebičů B a teplotou a tlakem ST-páry a tlakem NT-páry. Pro výpočty byl použit bilanční program KOMAT<sup>7)</sup>. Entalpie ST-páry byla konstantní a činila 3037,9 kJ kg<sup>-1</sup>, entalpie odběrové páry v místě O<sub>1</sub> byla 2829 kJ kg<sup>-1</sup>, entalpie výfukové páry v místě O<sub>2</sub> byla počítána ze vztahu

$$i_{O_2} = 2336,7 - 100,9 p_{ST} + 1,74 t_{ST} + 313,65 p_{NT} \quad (1)$$

platném s přesností asi 10 % rel. pro turbíny instalované v jisté moderní petrochemické výrobě. Entalpie kondenzátu nízkotlaké páry  $i_K$  byla vypočtena ze vztahu

$$i_K = 449,5 p_{NT} + 420,4 \quad (2)$$

získaného lineární regresi tabelovaných hodnot<sup>8)</sup> pro dané hodnoty  $p_{NT}$ . Vztah platí pro případ, kdy kondenzát opouští výměník o teplotě kondenzace (bez podchlazení). Spotřeba páry v turbíně se vypočte ze vztahu

$$Q_T = (m_{O_1} \Delta i_1 + m_{O_2} \Delta i_2) / 1000 \quad (3)$$

kde  $\Delta i_1$  je rozdíl entalpie páry na vstupu do turbíny a entalpie v místě odběru O<sub>1</sub>,  $\Delta i_2$  je rozdíl entalpie páry na vstupu do turbíny a entalpie páry v místě O<sub>2</sub>. V tabulce I jsou uvedeny výsledky simulačních výpočtů parního systému na obrázku 2 s proměnným tlakem NT-páry s uvedením spotřeby NT-páry do stripéru S<sub>1</sub> a odplyňovače S<sub>2</sub> spolu s exportem páry. Předpokládáme konstantní teplotu nástřiku do S<sub>1</sub> v hodnotě 60 °C. Redukce ST/NT je uvažována.

Z tabulky I vyplývají výhody regulace tlaku NT-páry v závislosti na výkonu výměníků B v sub-

systemu NT-páry. Poslední řádek v tabulce I ukazuje, že v případě, kdy by tlak NT páry nebylo možné regulovat a byl by fixován na 0,4 MPa, při sníženém výkonu výměníku B ze 79 na 66 MW by vznikl přebytek NT-páry ve výši 21 600 kg h<sup>-1</sup>, který by bylo nutné buď exportovat ze systému, nebo účelově chladit chladicí vodou či v extrémním případě odpouštět do atmosféry s patřičnými ekonomickými ztrátami.

## Závěr

Ve všech parních systémech, kde je odplyňovač napájecí vody vázán na nejnižší tlakovou hladinu páry a zároveň se v nich vyskytují sezónní či technologické změny spotřeby páry na nejnižší tlakové hladině a pára o vyšším tlakovém stupni (středotlaká) je využívána pro pohon turbín s výkonem do NT-páry, je výhodné víceustupňové (minimálně dvoustupňové) odplynění napájecí vody. Takto řešené odplynění si udržuje výhody dosavadního jednostupňového zapojení co se týče stabilních teplotních podmínek v odplyňovači, přináší však navíc výhodu možnosti regulace množství NT-páry v systému prostou změnou tlaku NT-páry. V návrhu parního systému s víceustupňovým odplyněním napájecí vody musí být počítáno s možnostmi změn tlaku NT-páry, a proto musí být přízpusobeny potrubní trasy včetně spotřebičů NT-páry tak, aby výkonnost výměníků tepla nebyla změnou tlaku (snížením) ohrožena.

## Seznam symbolů

- B — výměník tepla
- i — entalpie [kJ kg<sup>-1</sup>]
- K — kondenzát
- m — hmotový tok [kg s<sup>-1</sup>]
- NT — nízkotlaká pára
- O<sub>1</sub> — odběrové místo turbíny a konstantním tlakem páry
- O<sub>2</sub> — odběrové místo turbíny s regulovatelným tlakem páry
- p — tlak [MPa]
- Q — tepelný výkon [MW]
- ST — středotlaká pára
- t — teplota [°C]
- T — turbína

## Literatura

1. CA 99, P 110515F, P 110516Z. — 2. CA 99, P 163814. — 3. CA 99, P 12170Z. — 4. Mao, Jianlou; Fangchi Xuebao 4, 169 (1982); CA 99, 10612I. — 5. Čepický M.: Chem. prům., 34, 107 (1984). — 6. Jánca J.: i-s Diagram vodní páry, SNTI, Praha, 1984. — 7. Madron F.: Chem. prům., 25, 337, 317 (1985). — 8. Rikvin S. L., Alexandrov A. A.: Termodynamické sučivstva vody a vodjanoj para, Energijs, Moskva 1980.