

Tadeusz CHMIELNIAK, Zbigniew L. RATAJ, Andrzej W. WALEWSKI

Institut Maszyn i Urządzeń Energetycznych
Politechnika Śląska, Gliwice

CELOWOŚĆ STOSOWANIA NADKRYTYCZNYCH PARAMETRÓW PARY W BLOKACH ELEKTROWNI OPOLE

Streszczenie. W artykule omówiono zagadnienie celowości zastosowania podwyższonych parametrów pary (ciśnienia i temperatury) w blokach 5 i 6 Elektrowni Opole. Przedyskutowano wpływ ciśnień i temperatur na sprawność, stosowane w świecie rozwiązania bloków, a także stosowane stale i zagadnienia związane z konstrukcją kotła.

CONSIDERATION OF IMPLEMENTATION OF SUPERCRITICAL STEAM PARAMETERS IN POWER GENERATING UNITS IN OPOLE POWER STATION

Summary. In the paper the problems connected with implementation of the supercritical steam parameters (high pressure and temperature) in power generating units no. 5 and 6 of Opole Power Station has been described. Effect of a high supercritical steam pressure and steam temperature on overall thermal efficiency as well as problems of appropriate steel selection, the construction of steam generator and boiler operation were broadly discussed.

DIE ZIELSETZUNG DER ANWENDUNG VON ÜBERKRITISCHEN DAMPFPARAMETERN IN KRAFTWERK OPOLE

Zusammenfassung. Im Aufsatz sind verschiedene Probleme der Anwendung von überkritischen Dampfdrücken und größeren Dampftemperaturen in Blöcken 5. und 6. des im Bau befindlichen Opole Kraftwerks. Der Einfluß von überkritischen Dampfparametern auf den Gesamtwirkungsgrad des Kraftwerks, sowie eine Analyse des Werkstoffauswahl, die Zwangsdurlaufferzeugerkonstruktionsprobleme und ein Betriebsverhalten wurde behandelt.

Wprowadzenie

Jednym z podstawowych sposobów zmniejszenia emisji dwutlenku węgla (CO_2) z konwencjonalnych elektrowni (odniesionej do 1 kWh wytworzonej energii elektrycznej) jest zwiększenie sprawności elektrowni prowadzące do zmniejszenia ilości spalane go węgla. Wzrost sprawności wytwarzania osiąga się przez stosowanie wysokich nadkrytycznych parametrów pary, tj. temperatury i ciśnienia. Ciśnienie pary jest wyższe od ciśnienia krytycznego $p_k = 22,1$ MPa, a temperatura pary jest wyższa od temperatury krytycznej $t_k = 374,15^\circ\text{C}$. W punkcie krytycznym nie istnieje jakakolwiek różnica pomiędzy stanem wody i stanem pary (jednakowa objętość właściwa równa $v_k = 0,0031$ m³/kg).

W Elektrowni Opole przewidziano docelowo zainstalowanie sześciu bloków energetycznych. Założenia projektowe dla Elektrowni Opole opracowano w latach siedemdziesiątych. We wszystkich sześciu blokach przewidziano zainstalowanie kotłów przepływowych BP 1150 systemu Sulzer na parametry podkrytyczne (z recyrkulacją w parowniku) opalanych pyłem węgla kamiennego. W blokach od 1 do 4 zainstalowane są/będą turbozespoły 18K360 produkcji ABB. Natomiast w blokach 5 i 6 turbozespoły 18CK370 również produkcji ABB Zamech, które mają współpracować z członem ciepłowniczym o mocy cieplnej 500 MWt. Projektowane parametry pary świeżej przed turbiną są następujące: ciśnienie 17,65 MPa i temperatura 535°C.

Bloki nr 1 i 2 zostały uruchomione i pozostają w eksploatacji. Natomiast na blokach 3 i 4 trwają prace montażowe i określono terminy pierwszego uruchomienia na 30.09.1997 r. i 30.03.1998 r. Wszystkie kotły będą wyposażone w nowoczesne instalacje odpylania i mokrego odsiarczania spalin oraz instalacje zmniejszenia emisji NO_x metodami pierwotnymi.

W ciągu 25 lat, które upłynęły od opracowania pierwszych założeń, nastąpił olbrzymi postęp materiałowy i technologiczny w budowie dużych maszyn i urządzeń energetycznych. W szczególności pojawiły się nowe gatunki stali wysokostopowych chromowo-molibdenowych i udoskonalono ich technologie łączenia. Stale takie umożliwiają pracę elementów ciśnieniowych w kotle, elementów turbin ciepłych z wyższymi niż dotychczas temperaturami i ciśnieniami, przy zachowaniu wysokiej dyspozycyjności i niskiej awaryjności. Dzięki temu można uzyskać z konwencjonalnych bloków energetycznych dużo wyższe sprawności wytwarzania energii elektrycznej brutto, przekraczając poziom 41,0 – 43,0%.

Mając na uwadze poprawę sprawności ogólnej obiegu, wzrost sprawności bloku energetycznego i tym samym obniżenie kosztów wytwarzania energii elektrycznej w wyniku przyjęcia wyższej temperatury i ciśnienia pary przegrzanej, w opracowaniach [1 – 3] przedstawiono propozycję zastosowania wysokich, nadkrytycznych parametrów pary dla bloków 5 i 6 w budowanej

Elektrowni Opole. Proponowane parametry pary i rozwiązania bloków energetycznych byłyby pierwszymi w Polsce i odzwierciedlałyby w pewnym stopniu panujące w świecie tendencje.

Założeniem podstawowym było ograniczenie do minimum zmian w istniejących dotychczas rozwiązaniach planu generalnego elektrowni (w rozsądnym zakresie).

Wybór parametrów bloków 5 i 6 elektrowni Opole

Początkowa koncepcja [1]

Przyjęto w analizie dwa warianty (wariant I i wariant II) i porównywano je z wariantem odniesienia (wariant O), który stanowił niewielką adaptację projektowanych rozwiązań bloków 5 i 6.

W wariantcie I zakładano wykorzystanie istniejącego fundamentu kotła w bloku 5, co wpłynie na wybór konstrukcji nośnej kotła i pośrednio systemu ciśnieniowego (podobne ciężary i podziały słupów nośnych). W wariantcie I dostawcą kotła przepływowego BP1200SN byłaby Fabryka Kotłów RAFAKO, a turbozespołu 25CK410 ABB Zamech. Wynikowa moc bloku 410 MW. Parametry pary na wlocie do turbiny: ciśnienie pary świeżej 25 MPa, temperatura pary świeżej 540°C/560°C.

Tablica 1

Projektowane parametry nadkrytyczne

Lp	Parametr	Wariant 0	Wariant I	Wariant II	Nowy
		kocioł BP 1150	kocioł BP1200SN	kocioł BP1450SN	kocioł BP1250
1	Ciśnienie pary świeżej	18,6 MPa	26,2 MPa	26,2 MPa	27,5 MPa
2	Temperatura pary świeżej	540°C	545°C	545°C	583°C
3	Strumień pary świeżej	1150 t/h	1200 t/h	1450 t/h	1250 t/h
4	Temperatura pary wtórnej	540°C	562°C	562°C	334/602°C
5	Ciśnienia pary wtórnej	0,25 MPa	0,25 MPa	0,25 MPa	5,58/5,33
6	Temperatura wody zasilającej	255°C	270°C	270°C	301°C
7	Sprawność kotła (brutto)	91,7%	93,5%	93,5%	95,0%
8	Minimum techniczne kotła	600 t/h	480 t/h	580 t/h	500 t/h
9	Emisja NO _x z paleniska	< 160 g/GJ	< 160 g/GJ	< 160 g/GJ	< 160 g/GJ
10	Jednostkowe zużycie ciepła netto	9574 kJ/kWh	8780 kJ/kWh	8760 kJ/kWh	8079,4 kJ/kWh
11	Sprawność bloku netto	37,6%	41,0%	41,1%	44,56%

W wariantcie II (maksymalny wzrost) rozważano możliwość wybudowania bloków energetycznych o mocy 500 MWe. Wzrost wielkości kotła – BP1450SN i turbiny – 25CK500. Analizowano dalsze podwyższenie ciśnienia pary do 28 MPa i temperatury pary 560°C/560°C i zwiększenie stopnia próżni.

W tablicy 1 zestawiono proponowane parametry kotłów przepływowych dla bloków oraz osiąganą sprawność bloków i jednostkowe zużycie ciepła netto bloku w kondensacji.

Aktualizacja koncepcji i założeń [2, 3]

Autorzy ZTE [1] po przeanalizowaniu w okresie 1994–1996 istniejących w światowej energetyce rozwiązań i tendencji oraz po skonfrontowaniu ich z proponowanymi wcześniej (tablica 1) doszli do wniosku, że konieczne byłoby wprowadzenie wyższych parametrów nadkrytycznych, tj. ciśnienia pary 26,6 MPa i temperatur 583°C/602°C i mocy bloków po 460 MW.

Projekt przewiduje budowę kotła przepływowego o spiralnym układzie rur parownika, na parametry nadkrytyczne o wysokiej sprawności 95% uzyskiwanej dzięki niskiej temperaturze spalin wylotowych – 105°C. Proponowane parametry kotła umieszczono w (tabl. 1) w kolumnie 6. Podniesienie temperatury pary przegrzanej do poziomu 583°C/602°C jest korzystne, co widać z porównania jednostkowego zużycia ciepła oraz sprawności bloku. Wzrost sprawności bloku następuje do poziomu spotykanego w blokach zagranicznych (44,56%).

Palenisko kotłów będzie dostosowane do spalania węgla kamiennego o charakterystyce:

		węgiel kamienny		
		dolny	bazowy	górnny
wartość opałowa, Wd		21000 kJ/kg	23000 kJ/kg	25000 kJ/kg
zawartość popiołu, A		22%	20%	10%
zawartość wilgoci, W		13%	10%	8%
zawartość siarki, S		1,4%	1,2%	0,8%

Stosowane parametry nadkrytyczne i uzyskiwane sprawności bloków

Już w latach pięćdziesiątych występowała tendencja do budowy bloków na parametry nadkrytyczne (tabl. 2)¹, bowiem podnoszenie ciśnienia pary powo-

¹ Noetzelin V.: Das neue Kraftwerk Hüls – eine Anlage mit 300 at/600°C Frischdampfzustand. VGB-Mitt. 1958, nr 55, s. 230/255; Harlow: Engineering the Eddystone Plant for 5000 Lb 1200 Deg. Steam. Trans. ASME 79, August 1957.

duje przyrost sprawności bloku o wielkość $\Delta\eta_{\text{cał}} = 0,005\%$ punktów/bar; natomiast podniesienie temperatury pary pociąga za sobą odpowiadający przyrost sprawności $\Delta\eta_{\text{cał}} = 0,011\%$ punktów/ $^{\circ}\text{C}$.

Jak wynika z tablicy 2, największe bloki były zainstalowane w Elektrowni Eddystone (Philadelphia USA) w 1959 r. z kotłami przepływowymi Sulzer o podwójnym przegrzewie międzystopniowym. Parametry pary za kotłem: wydajność 907 t/h, ciśnienie 36,5 MPa, temperatura 566 $^{\circ}\text{C}/566^{\circ}\text{C}/566^{\circ}\text{C}$. Dyspozycyjność systemu była niska, wady materiałowe (stale) i montażowe. Blok dwuwałowy miał moc 358 MW uzyskiwaną z turbozespołów: 160 MW i 198 MW.

Tablica 2
Parametry pierwszych w świecie bloków na parametry nadkrytyczne

Parametry		Jednostka	Elektrownia			
			Hüls Niemcy	Philo USA	Eddy- stone USA	Czelja- bińsk ZSRR
			Data oddania do eksploatacji			
			X. 1956	III. 1956	IX. 1959	V. 1953
			Układ turbozespołu			
			dwu- wałowy	jedno- wałowy	dwu- wałowy	turbina czołowa
Moc turbozespołu	Nel	MW	85	125	325	–
Strumień pary pierwotnej	D_{pp}	t/h	260	306	907	300
Ciśnienie pary pierwotnej	p_{pp}	MPa	29,4	31,08	34,52	22,1
Temperatura pary pierwotnej	t_{pp}	$^{\circ}\text{C}$	600	621	649	575
Ciśnienie/temperatura pierwszego przegrzewu wtórnego	p_{Iw}	MPa/ $^{\circ}\text{C}$	10,59/560	7,94/565	7,35/565	3,14/415
Ciśnienie/temperatura drugiego przegrzewu wtórnego	p_{IIW}	MPa/ $^{\circ}\text{C}$	3,14/560	1,23/537	1,86/565	–
Próżnia w skraplaczu	p_k	kPa	2,5	3,45	5,2	–
Ilość podgrzewaczy regeneracyjnych		sztuk	9	7	9	–
Temperatura wody zasilającej	t_{wz}	$^{\circ}\text{C}$	337	275	300	228
Sprawność bloku	η	%	41,37	40,17	42,56	–
Jednostkowe zużycie ciepła bloku	q	kJ/kWh	8702,3	8959,7	8457,3	–

W USA w 1963 r. zbudowano na parametry nadkrytyczne blok 600 MW, w roku 1965 blok 800 MW, a w 1967 pierwszy największy w świecie kocioł do bloku 1320 MW. W tamtych latach duże bloki budowano zawsze na parametry nadkrytyczne, a małe jako podkrytyczne [15] (tabl. 3).

Tablica 3

Kotły firmy Babcock & Wilcox w energetyce zawodowej USA

	Lata 1960–1970	Lata 1971–1981
Kotły przepływowe na ciśnienie nadkrytyczne 25,0 MPa		
– łączna ilość bloków	37	5
– łączna zainstalowana moc	27558 MW	4840 MW
– średnia moc bloku	745 MW	968 MW
– największy blok	1320 MW	1320 MW
Kotły walczakowe (z obiegiem naturalnym)		
– łączna ilość bloków	22	80
– łączna zainstalowana moc	3865 MW	45198 MW
– średnia moc bloku	175 MW	565 MW
– największy blok	300 MW	875 MW

W Europie w latach 1969–1979 występowało małe zainteresowanie budowaniem bloków z parametrami nadkrytycznym. Wynikało to z cen paliw i jednocześnie niskiej dyspozycyjności bloków. Badania EEI lub EPRI wykazywały większość zamówień bloków energetycznych w USA z parametrami podkrytycznymi i temperaturami pary do 540°C, czyli z kotłami walczakowymi z obiegiem naturalnym lub wspomaganym. Dalsze badania potwierdzają, że z rozwojem techniki następuje wzrost dyspozycyjności (zmniejszenie awaryjności) bloków o parametrach nadkrytycznych [16].

W Niemczech w minionych latach budowano bloki prawie wyłącznie z kotłami z obiegiem wspomaganym o podobnych parametrach jak w USA, chociaż dyspozycyjność bloków nadkrytycznych była na poziomie 85%.

Nowe zamówienia dotyczą ponownie bloków z ciśnieniami koncesyjnymi do 30 MPa, przy czym temperatury pary przegrzanej wybiera się na poziomie wyznaczonym zastosowaniem stali martenzytycznej chromowej X20CrMoV12 1 i nowej stali P91 z 9% zawartością chromu, która jest przeznaczona do długotrwałej pracy w temperaturach do 625°C. Od roku 1990 w ścisłej współpracy z Firmą Mannesmann w wielu elektrowniach niemieckich dokonano wymiany rurociągów na nowe wykonane ze stali P91 [7]. Blok Hessler o mocy 720 MW z elementami wykonanymi z P91 projektowany jest na sprawność 46,1%. Oto przykłady bloków:

Gavin (USA)	2600 MW, 4435 t/h pary; 26,5 MPa, 543°C/538°C	1974
Philo (USA)	125 MW, 31,0 MPa, 621°C/566°C/538°C	1982
Laramie (USA)	1710 MW,	

Mannheim (Niemcy), bl. 18	475 MW, 25,5/9,0/2,0 MPa, 530°C/540°C/530°C 1982 200 MW turbozespół kondens. + 75 MW turb przeciwprężna
Mannheim (Niemcy), bl. 19	475 MW, 25,5/9,0/2,0 MPa, 530°C/540°C/530°C 1988
Staudinger 5 (Niemcy)	550 MW, 25 MPa, 540°C/560°C 1992
Meri Pori 5 (Finlandia)	680 MW, 23,5 MPa, 538°C/558°C 1993
Rostock 5 (Niemcy)	550 MW, 25 MPa, 540°C/560°C 1994
Hemweg 8 (Holandia)	680 MW, 25 MPa, 535°C/563°C 1994
Franken II, 3 stadium	750 MW, 28,1MPa, 545°C/542°C 1998
Heßler 732 MW,	2000 t/h pary; 27,5 MPa, 580°C/600°C 1998

Dalszym przyczynkiem w kierunku poprawy sprawności elektrowni było zastosowanie technik komputerowych w obliczeniach trójwymiarowych przepływów, projektowaniu i wykonywaniu łopatek turbin. Wewnętrzną sprawność turbiny w ten sposób zwiększono w ciągu ostatnich 20 lat o 4 do 5 punktów procentowych obliczeniowych.

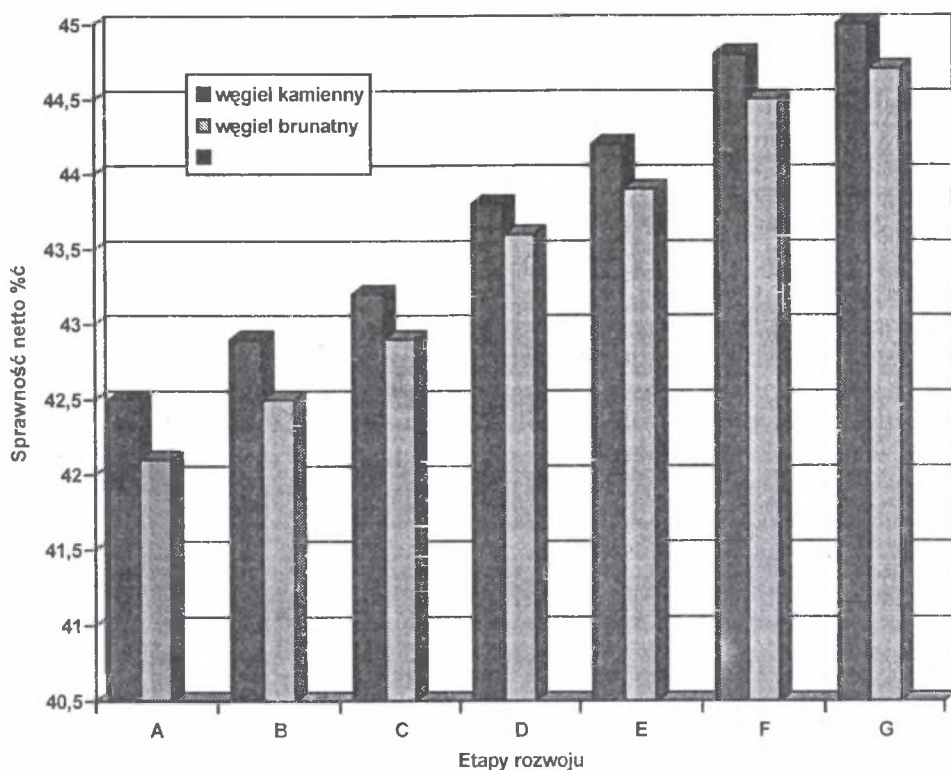
Blok w elektrowni Heßler z obiegiem cieplnym wysokotemperaturowym o parametrach: ciśnienie pary 27,5 MPa, temperatura pary 580°C i temperatura pary wtórnej 600°C, temperaturze wody zasilającej podniesionej z 270°C do 300°C ma sprawność 43,9%.

Elektrownia Staudinger z blokiem 500 MW osiągnęła sprawność 42,5%. Szereg wprowadzonych czynników wpływa na wzrost sprawności bloku i pozwala osiągnąć granicę sprawności 45% przy opalaniu węglem kamiennym lub 40% węglem brunatnym (projektowane bloki 800 MW). Na rys. 1 przedstawiono wzrost sprawności bloków z kotłami opalonymi węglem kamiennym o wartości opałowej $W_d = 29,0$ MJ/kg i węglem brunatnym o wartości opałowej $W_d = 21,0$ MJ/kg [7].

Zagadnienia konstrukcyjne i eksploatacyjne kotłów przepływowych na parametry nadkrytyczne

W budowie bloków na parametry nadkrytyczne pary zasadniczą rolę odgrywa kocioł parowy. Współcześnie projektowane kotły parowe są budowane jako kotły jednociągowe wieżowe z paleniskiem tangencjalnym wyposażonym w niskoemisyjne palniki na pył węglowy, olejowe lub gazowe.

W kotłach przepływowych na parametry nadkrytyczne najczęściej stosuje się system Benson lub Sulzer, przewidując w układzie rozruchowym rozprężacz rozruchowy. Konieczność zapewnienia minimalnej prędkości wody w rurach parownika wymaga zastosowania skośnego układu rur, tzw. spiralnego (zamiast pionowego).



Rys. 1. Wpływ różnych czynników na wzrost sprawności bloków nadkrytycznych opalanych węglem kamiennym i brunatnym: A – blok 500 MW elektrowni Staudinger (baza), B – blok 700 MW, 8 stopniowy, C – wzrost sprawności wewnętrznej turbiny, D – podwyższenie parametrów z 26,0 MPa/545/560°C na 27,5,5 MPa/580/580°C, E – zwiększenie próżni w skraplaczu z $p_k = 4,6$ kPa na 3,7 kPa, F – podwyższenie temperatury pary wtórnej z 580°C na 600°C i przekroju wylotowego z turbiny $4 \times 10 \text{ m}^2$ na $4 \times 11,5 \text{ m}^2$, G – ilość upustów turbiny: 9 upustów do podgrzewaczy regeneracyjnych

Fig. 1. The influence of various factors on the efficiency increase of the super critical power generating unit fired with bituminous and brown coal

W kotle przepływowym na parametry nadkrytyczne można zrezygnować z funkcji wodooddzielacza, niezbędnego w kotle na parametry podkrytyczne, bowiem nie występuje w okresach przejściowych para mokra lub nasycona sucha, czyli brak różnicy objętości właściwych: pary i wody, które muszą zostać skompensowane w wodooddzielaczu w stanach przejściowych. Jednakże w praktyce eksploatacyjnej z ciśnieniem poślizgowym konieczne jest pozostawienie wodoodddzielacza, przy czym aby zachować cienkie ścianki przy tak wysokich ciśnieniach stosuje się dużą liczbę wodooddzielaczy, np. 4 – 6 sztuk.

W kotłach nadkrytycznych tzw. układ pracy z niskimi obciążeniami wyposażony jest w pompę recyrkulacji, która może być włączona w bocznym lub w głównym strumieniu [11, 14, 17].

Układ przepływowy kotła na parametry nadkrytyczne wymaga pompy wody zasilającej o dużej wysokości podnoszenia, napędzanej turbiną, bowiem musi ona wytworzyć ciśnienie statyczne czynnika, pokonać duże opory przepływu spowodowane gęstością czynnika, większą prędkością i mniejszymi średnicami wewnętrznymi rur.

Z uwagi na inne warunki hydrodynamiczne parownika kotła nadkrytycznego, często stosuje się wewnątrz rur żebra i rowki spiralne rowki zapobiegające występowaniu kryzysu wrzenia [19 – 22].

Wykonanie kotłów przepływowych nadkrytycznych z przeznaczeniem do eksploatacji z parametrami poślizgowymi wymaga zastosowania zawansowanych technik sterowania i regulacji. Układy nadzoru eksploatacyjnego sterują on-line gradientami wzrostu mocy w czasie rozruchu, podjazdów i zjazdów z obciążenia.

W kotłach przepływowych pracujących z wysokimi temperaturami pary (600°C) występują temperatury ścianek rur od 640 do 670°C, w których to temperaturach zachodzi korozja wysokotemperaturowa, jak też tworzą się produkty zgorzelinowe. Zastosowanie stali o dużej ilości chromu wydatnie zmniejsza ubytki korozyjne rur [12].

Stosowane stale i osiągnięta dyspozycyjność

Elementy kotłów pracujące do temperatur 545°C wykonywane są ze stali martenzytycznej X 20 CrMoV 12 1². Stal wymaga dobrej obróbki cieplnej i utrzymywania reżimu temperaturowego. Ze wzrostem temperatury pracy do 600°C szybko spada jej czasowa wytrzymałość na pełzanie. Dopuszczalne obliczeniowe naprężenie wynosi 50 N/m². Zalecenia obliczeniowe wskazują na konieczność utrzymywania stosunku średnicy zewnętrznej do wewnętrznej

² W niższych temperaturach stosuje się stale ferrytyczne 10 CrMo 9 10 i 15 Mo 3. (Oznaczenia wg DIN).

równej 2 dla grubości ścianek komór do 80 mm. Jako graniczną do zastosowań temperaturę przyjmuje się dla stali X 20 CrMoV 12 1 – równą 550°C.

Powyżej tej temperatury stosuje się stal austenityczną, np. niestabilizowany austenit X 3 CrNiMoN 17 13. Temperatura graniczna stosowalności tej stali sięga 600°C (ciśnienia 30,0 MPa). Powyżej tej temperatury konieczne jest albo zmniejszenie grubości ścianek elementów, albo przejście w kierunku stali wysokostopowych. Przykładowo, przyjmując zamiast 4 komór wyjściowych przegrzewacza pary świeżej osiem komór, można przesunąć o 10 K zakres temperatur pracy (przejście ze stali martenzytycznej do stali austenitycznej) lub podniesienie granicznej temperatury do 620°C.

pozytywne doświadczenia ze stosowaniem stali austenitycznych w kotłach nadkrytycznych [6] pozwalają wykorzystywać do wytwarzania rur powierzchni grzewczych stale stabilizowane niobem, np.: X 8 CrNiMoNb 16 13 i stal X 8 CrNiMoNb 16 16. Nie zachodzi potrzeba stosowania przejściówek pomiędzy austenitycznymi i ferrytyczno–martenzytycznymi stalami, wystarczy spawanie elektrodami o wysokiej zawartości niklu jako stabilizatora (NiCr 15 Fe).

Większe grubości ścianek elementów w strefie wpływu ciepła w tych stalach powodują, że mogą się pojawiać pęknięcia propagujące wgłąb. Stosując wspomnianą już stal austenityczną niestabilizowaną, zawierającą azot X 3CrNiMoN 17 13, można uniknąć tych problemów. Duże możliwości stwarza też stal austenityczna X 12 CrMoWVNbN 10 11.

Najbardziej obciążone termicznie końcowe stopnie przegrzewaczy, a także ściany opasujące kotła i rurociągi powinny być wykonywane, o ile to możliwe, ze stosowanej do temperatur 584°C stali P91 o zawartości chromu 9% (X 10 CrMoVNb 9 1). Stal może być wykorzystana do wykonywania komór końcowych i rurociągów. Oprócz tej stali można stosować austenit X 3 CrNiMoV17 13.

Oprócz stali P91 na komory wylotowe kotłów nadkrytycznych na ciśnienia do 30 MPa i temperatury 600°C/610°C można będzie stosować w perspektywie 3 – 5 lat najnowsze stale stopowe wolframowe zawierające od 9 do 12% chromu. Są to E911, Nf616 i HCM12, lub HCM12A. (Materiały są w fazie badań i umożliwią bezproblemowe podniesienie parametrów nadkrytycznych).

Konstrukcja kotła przepływowego na parametry nadkrytyczne i zastosowane materiały mają wpływ na dyspozycyjność. W warunkach amerykańskich bloki budowane w latach do 1975 (Atmos, Gavin 1) wykazywały łączną dyspozycyjność od 87% do 90%. Bloki stawiane po roku 1980 (Mountainer) dyspozycyjność 96,8%!

Ocena proponowanych parametrów i rozwiązań w Elektrowni Opole

Układy technologiczne bloków 360 MW 1 – 4 odpowiadają przyjmowanym standardom w budowie podkrytycznych instalacji kondensacyjnych (siedem odczepów regeneracyjnych, umiarkowanie wysoka temperatura wody zasilającej, jednokonturowy układ chłodzenia skraplacza). W układzie nadkrytycznym zastosowano bardziej rozwiniętą regenerację (temperatura wody zasilającej 276,2°C) oraz przyjęto niższe ciśnienie w skraplaczu $p_k = 5$ kPa, co wraz z innymi parametrami pary świeżej i wtórnego przegrzewu pozwoliło uzyskać sprawność netto 42,1%.

Pewnym miernikiem jest porównanie rozpatrywanych bloków z instalacją bloku 5 elektrowni Staudinger, którego sprawność netto równa 43% (projektowana 42,5%) jest uważana za najwyższą dla bloków opalanych pyłem węglowym. Biorąc pod uwagę, że parametry pary świeżej tego bloku (26,2 MPa, 545°C/562°C) są porównywalne z parametrami 5 i 6 bloku w Elektrowni Opole, można uważać przedstawione rozwiązanie za odpowiadające standardom światowym. Zaznaczmy, że w bloku 5 elektrowni Staudinger zainstalowano zewnętrzną instalację usuwania tlenków azotu oraz dwukonturowy system schładzania skraplacza, a także bardzo energooszczędne układy napędowe urządzeń pomocniczych. Należy więc sądzić, że prognozowana sprawność 42,1% może być przekroczona przy głębszej analizie układu cieplnego.

Człon ciepłowniczy został zaprojektowany zgodnie z ustaleniami wyżej sygnalizowanego posiedzenia Zespołu Technicznego NTE. Moc cieplna została przyjęta w wysokości 220 MWt, co odpowiada przewidywanemu zapotrzebowaniu miasta Opole. Problematyka struktury popytu i podaży ciepła nie jest szczegółowo dyskutowana w opracowaniu.

System pomiarów i automatyki bloków 1 i 2 spełnia ogólne funkcje diagnozowania i racjonalnej eksploatacji. Z opisu komputerowego systemu wspomaganego dyspozytora bloku nie wynika, w jakim zakresie możliwa będzie analiza danych zbieranych dla oceny stanu bieżącego i prognozowania prowadzenia ruchu. Bloki 3 – 6 (wraz z członem ciepłowniczym bloków 5 i 6) będą wyposażone w mikroprocesorowy system pomiarów i automatyki spełniający wiele funkcji i realizujący wiele ważnych zadań umożliwiających racjonalną eksploatację bloków.

Podsumowanie

Zastosowanie w Elektrowni Opole w blokach 5 i 6 parametrów nadkrytycznych jest rozsądne, bowiem prowadzi do wzrostu sprawności wytwarzania

energii elektrycznej. Osiągnięte zostaną sprawności 41,8 – 42,2%. Będą to pierwsze w Polsce bloki na parametry nadkrytyczne o dobrej dyspozycyjności.

Jako optimum parametrów nadkrytycznych dla obecnie stosowanych bloków nadkrytycznych stosuje się w świecie następujące parametry: ciśnienie pary 26,0 MPa i temperaturę pary 580°C/600°C (jednokrotny przegrzew wtórny). Przyjęte w Elektrowni Opole parametry są zbliżone do podanych, tym samym zostały trafnie wybrane.

Dla niezawodności bloku ważne jest zastosowanie kotła przepływowego o dobrze rozwiązanej konstrukcji części ciśnieniowej i komory paleniskowej z paleniskiem tangencjalnym, współpracującego z układem rozruchowym i układem pracy z niskimi obciążeniami. Zarówno system Sulzer, jak też Benson są odpowiednie.

Przyjęte założenia i schematy technologiczne odpowiadają głównym tendencjom rozwojowym bloków węglowych. Należy oczekiwać dalszych przedsięwzięć doskonalących strukturę technologiczną bloków nadkrytycznych. Rozwiązania te zmniejszające obciążenie środowiska naturalnego umożliwiają spełnienie wszystkich kryteriów ekologicznych. Niskie koszty wytwarzania energii elektrycznej i ciepła stanowią o dużej konkurencyjności budowanej elektrowni w polskim systemie elektroenergetycznym.

Literatura

1. Opracowanie BS i PE Energoprojekt Gliwice: Elektrownia Opole. Studium możliwości i celowości zastosowania parametrów nadkrytycznych w bl. 5 i 6. Nr projektu 31714, nr arch. 478548. Gliwice 1994.
2. Opracowanie BS i PE Energoprojekt Gliwice: Założenia techniczno-ekonomiczne – aktualizacja. Zadanie 1: Budowa Elektrowni Opole. Tom 2 Charakterystyka Technologiczna. Zeszyt 1 Gospodarka ciepłno–maszynowa i wodą chłodzącą. Nr projektu 35236a, nr arch. 497693. Gliwice 1996.
3. Opracowanie BS i PE Energoprojekt Gliwice: Założenia techniczno-ekonomiczne – aktualizacja. Zadanie 1: Budowa Elektrowni Opole. Tom 2 Charakterystyka Technologiczna. Zeszyt 1 Gospodarka ciepłno–maszynowa i wodą chłodzącą. Załącznik 2. Wykaz podstawowych urządzeń bloków 5 i 6. Nr projektu 35236a, nr arch. 497693. Gliwice 1996.
4. Chmielniak T.: Koreferat w sprawie możliwości i celowości zastosowania parametrów nadkrytycznych w blokach 5 i 6 Elektrowni Opole. Gliwice 1994.
5. Chmielniak T.: Ocena opracowania „Aktualizacja ZTE Elektrowni Opole. Studium wykonalności”. Gliwice 1996.
6. Rataj Z.: Charakterystyka kotłów przepływowych na parametry nadkrytyczne. Opracowanie w maszynopisie. Politechnika Śląska Gliwice 1994.

7. Harig H.-D.: Leistungsanforderungen an die Kraftwirtschaft Europas. VGB Kraftwerkstechnik 73, 1993, H. 1.
8. Kotschenreuther H., Häuser U., Weirich P.-H.: Zukünftige wirtschaftliche Kohleverstromung. VGB Kraftwerkstechnik 73 (1993), H. 1.
9. Schlessing J., Strasser P., Petersen V.: Betriebserfahrungen mit dem überkritischen 475 MW Zwangsdurchlauf-Dampferzeuger mit doppelter Zwischenüberhitzung der Großkraftwerk Mannheim AG. EVT Register, nr 45, 1986.
10. Petermann V., Schneider G., Sigg J.: Kraftwerk Franken II, 3. Ausbau Verbundblock 750 MW. EVT Register, nr 52, 1993.
11. Schießing J., Kessel W., Schönhaar H.: Erfahrungen bei der Inbetriebnahme und beim Betrieb des Dampferzeugers „Kessel 19“ im Großkraftwerk Mannheim. Evt Register, nr 53, 1994.
12. Scheffknecht G.: Steinkohledampferzeuger mit NO_x -armer Feuerung und hohen Dampfparametern. In Sammlung u.d.T.: Fachvorträge anlässlich der Jubiläumsfeier 21.06.1996. EVT Stuttgart 1996.
13. Bald A., Wittchow E., Charlier J.: Steinkohlebefeuerte Kraftwerke – Heutiger Stand und zukünftige Möglichkeiten der Auslegung. VGB Kraftwerkstechnik 63, 1983, H. 1.
14. Ecabert R., Miszak P.: Vergleich zwischen Zwangsdurchlaufkesseln mit vertikaler oder mit schraubenförmiger Berohrung der Brennkammerwände. VGB Kraftwerkstechnik 58, 1978, H. 12.
15. Haller K., H.: Große kohlenstaubbefeuerte Dampferzeuger. Entwicklungen und Erfahrungen. VGB Kraftwerkstechnik 63, 1983, H. 1.
16. Martin H.: Auslegung und Konstruktion großer steinkohlebefuenerter Dampferzeuger mit hohen Dampfzuständen. VGB Kraftwerkstechnik 63, 1983, H. 5.
17. Wittchow E.: Trommelkessel oder Durchlaufkessel: Einfluß des Verdampfersystems auf die Auslegung und das Betriebsverhalten der Anlage. VGB Kraftwerkstechnik 62, 1982, H. 5.
18. Leithner R.: Vergleich zwischen Zwangsdurchlaufdampferzeuger, Zwangsdurchlaufdampferzeuger mit Vollastumwälzung und Naturumlauftampferzeuger. VGB Kraftwerkstechnik 63, 1983, H. 7.
19. Iwabuchi M., Matsuo T., Haneda H., Yamamoto K.: Heat transfer and hydrodynamic characteristics of rifled tubing for supercritical sliding pressure operation monotube boilers. Mitsubishi Heavy Industries, Ltd. Japan. 18th Meeting of Monotube Boiler Licensees Hartford, Conn., USA. September 1983.
20. Menager R., Vavricka Z., Stalder M., Rees K.: Structural analysis of a 600 MW coal fired once-through boiler with vertical rifled tube walls. Sulzer Brothers Limited, Winterthur. 18th Meeting of Monotube Boiler Licensees Hartford, Conn., USA. September 1983.

21. Merz J.: Mannheim Power Station. Some highlights on design and the first year of operation of the once-through supercritical double reheat coal fired steam generator. EVT Energie- und Verfahrenstechnik GmbH. 18th Meeting of Monotube Boiler Licensees Hartford, Conn., USA. September 1983.
22. Salem A., Stocker W., Miszak P.: Range of application of once-through boilers with vertical rifled tube walls. Sulzer Brothers Limited, Winterthur. 18th Meeting of Monotube Boiler Licensees Hartford, Conn., USA. September 1983.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Gerard Kosman

Wpłynęło do Redakcji: 10. 10. 1996 r.

Abstract

In Opole power station the 2 undercritical steam generator and steam turbine are still in operation. The next two power generating units are under construction phase and will be commissioned in two years. For power units No. 5 and No. 6 has been new operating parameters proposed. Steam pressure were arisen to 26,6 MPa, superheat temperature to 580°C and the reheat temperature to 600°C. This will have results to rise of overall power generating efficiency. Problems connected with steam generator design for supercritical pressure and double reheat are of great interest. The reported world-wide experience gained after some years of operation of existing power stations with supercritical steam parameters will given more information for future design and selection of equipment's. Generator has the following special features:

The steam generator are constructed according to the proved tower construction principle with gas-tight seal welded enclosure walls, i.e. built with finned evaporator tube wall with spiral wound arrangement. In view of a highest possible thermodynamic efficiency a supercritical pressure of 26,6 MPa, and steam temperature of 580/600°C were selected. The total efficiency with condensation operation is 42,0%. With the proposed decoupling of steam for district heating system a achievable thermal efficiency will be considerably greater. The once-through steam generator is intended for base load operation as well as for sliding pressure operation. Later it shall be operated in medium capacity factor and peak load ranges. The plant is therefore designed for quick start-up and shutdown. Low load operation is possible down to 25% at supercritical pressure, whereby below 40% load circulation must be used.