ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 2001
Seria: ENERGETYKA z.133 Nr kol. 1486

Jan SKŁADZIEŃ
Małgorzata HANUSZKIEWICZ-DRAPAŁA
Robert KIEŁBIŃSKI
Politechnika Śląska, Gliwice

WPŁYW UPUSTÓW REGULOWANYCH NA PARAMETRY PRACY BLOKU ELEKTROWNI KONDENSACYJNEJ

Streszczenie. W pracy przedstawiono rezultaty analizy cieplnej bloku 360 MW elektrowni kondensacyjnej z zainstalowanymi dodatkowymi wymiennikami ciepłowniczymi. Rozpatrywano sytuację, gdy część pary upustowej z turbiny zasila wymienniki ciepłownicze. Celem przeprowadzonej analizy było określenie wpływu dodatkowego poboru pary z upustów turbiny na parametry pracy bloku. Analizowano dwa przypadki. W pierwszym z nich przyjęto, iż możliwe jest zwiększenie strumienia wytwarzanej w kotle pary tak, aby przy założonej produkcji ciepła grzejnego wartość wytwarzanej mocy elektrycznej była stała. Drugi przypadek dotyczył sytuacji, gdy wydajność kotła jest stała. W obu przypadkach przeprowadzono wielowariantowe obliczenia, analizując wpływ obciążenia cieplnego wymienników ciepłowniczych na podstawowe parametry pracy bloku.

THE INFLUENCE OF REGULATED STEAM EXTRACTIONS ON THE WORKING PARAMETERS OF POWER STATION UNIT

Summary. In the paper there are given some results of thermal analysis of 360 MW power station unit with additionally installed heat exchangers for heat engineering system. These exchangers are steam supplied and steam streams are some portions of turbine extraction streams. Determination of influence of additional steam bleeding on the working parameters of the power station unit was the main aim of the analysis performed. Two characteristic cases have been considered. The first one appears if there is possibility to increase the steam stream generated in steam boiler to such a level that the electric power generated by turbogenerator is constant in spite of generating the assumed heat power. In the second case the steam boiler output is constant. For the both cases there were performed multivariant calculations and there was done the analysis of the influence of the level of the heat power generated in heat exchangers for heat engineering system on the characteristic working parameters of the power station unit.

1. WSTĘP

Jednym z możliwych rozwiązań problemu zapotrzebowania na ciepło grzejne jest zastosowanie w klasycznym układzie bloku energetycznego elektrowni kondensacyjnej dodatkowych wymienników pełniących rolę wymienników ciepłowniczych. Dyskusję dotyczącą między innymi takiego sposobu realizacji potrzeb systemu ciepłowniczego przeprowadzono na łamach czasopisma Energetyka [1,2,3]. Problem w tym przypadku dotyczył doboru źródeł ciepła dla miasta Opola.

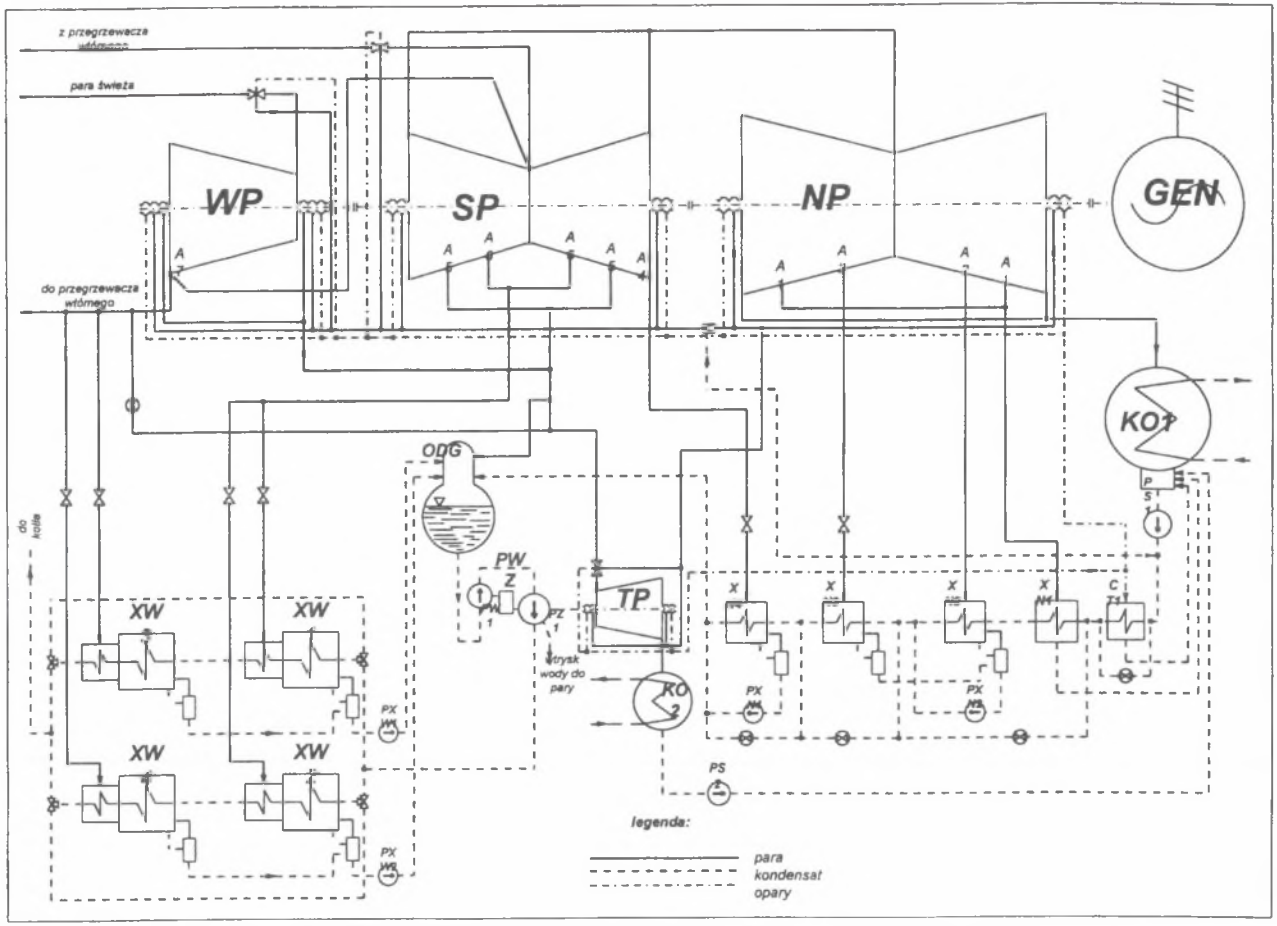
Jak wspomniano, zastosowanie wymienników ciepłowniczych jest jednym z możliwych do realizacji w praktyce sposobów zaopatrzenia w ciepło grzejne. Rozwiązanie takie zmienia wartości podstawowych parametrów charakteryzujących pracę bloku, takich jak na przykład sprawność bloku. Oczywiste jest, iż ostatecznym kryterium decydującym o celowości takiego rozwiązania jest analiza ekonomiczna.

Zastosowanie wymienników ciepłowniczych związane jest z dodatkowym poborem pary upustowej z turbiny, co wpływa między innymi na sprawność bloku elektrowni. W niniejszej pracy przedstawiono rezultaty analizy cieplnej bloku 360 MW Elektrowni Opole. Celem przeprowadzonych obliczeń było określenie wpływu obciążenia cieplnego, wynikającego z zapotrzebowania na ciepło grzejne, na parametry pracy bloku. Obliczenia przeprowadzono dla uproszczonego układu przedstawionego na rys. 1, przy założeniach stosowanych na ogół w tego typu obliczeniach. Założenia te dotyczą głównie ustalonego stanu pracy układu, pominięcia strat ciepła do otoczenia i strat ciśnienia, spowodowanych oporami przepływu oraz pominięcia zmian potencjalnej i kinetycznej energii czynnika. Szczegółowe założenia przedstawiono w opisie modelu matematycznego. Analizę przeprowadzono posługując się równaniami bilansu energii i substancji. Obliczenia mają charakter numeryczny.

Przeprowadzona analiza obejmowała dwa przypadki. W jednym z nich przyjęto, iż wytwarzana jest stała moc elektryczna, co przy dodatkowym obciążeniu cieplnym bloku, wynikającym z jego dodatkowej funkcji ciepłowniczej, wiąże się ze zwiększoną produkcją pary w kotle. W drugim z rozpatrywanych przypadków założono stałą wydajność kotła. Dla obu wymienionych przypadków przeprowadzono wielowariantowe obliczenia dla różnych założonych wartości obciążenia cieplnego wymienników.

2. OPIS ANALIZOWANEGO UKŁADU

Strukturę układu cieplnego, który jest przedmiotem analizy, przedstawiono na rys.1. Turbina zastosowana w tym układzie składa się z trzech części: wysokoprężnej (WP),



Rys.1. Schemat bloku 360 MW
Fig.1. Diagram of the 360 MW power station unit

średnioprężnej (SP) i niskoprężnej (NP), przy czym kadłub części wysokoprężnej jest jednoprzepływowy, pozostałe zaś części są dwuprzepływowe. Para wodna po rozprężeniu się w wysokoprężnej części turbiny zostaje wtórnie przegrzana w kotle. Para upustowa z niskoprężnej części turbiny zasila wymienniki ciepłownicze oraz trzy z czterech wymienników układu regeneracji niskociśnieniowej. Czwarty z wymienników zasilany jest parą z turbiny średnioprężnej. Wysokociśnieniowy układ regeneracji składa się z dwóch par pracujących równolegle wymienników zasilanych parą z wysoko- i średnioprężnej części turbiny. Oprócz wymienionych elementów na rysunku zaznaczono: generator prądu elektrycznego, skraplacz, odgazowywacz, główną pompę wody zasilaną przez turbinę pomocniczą oraz skraplacz za tą turbiną. Poszczególne elementy otoczono osłonami bilansowymi i założono, iż wszelkie przemiany termodynamiczne zachodzą wewnątrz tak utworzonych węzłów bilansowych [4,5]. Pomiędzy węzłami przekazywana jest energia głównie w postaci strumieni substancji. Uwzględniane strumienie energii oznaczono na rys.1 kolejnymi numerami.

3. MODEL MATEMATYCZNY UKŁADU, METODA ROZWIĄZANIA

Podstawową częścią modelu matematycznego analizowanego układu są równania bilansu energii oraz równania bilansu substancji zapisane dla zaznaczonych na rys. 1 węzłów. Do równań tych dołączono zależności otrzymane z przyjętych definicji wskaźników, które charakteryzują pracę urządzeń. Otrzymano ostatecznie układ 73 równań, w tym 19 równań bilansu energii, 45 równań bilansu substancji oraz 9 równań wynikających ze sprawności urządzeń. Model matematyczny analizowanego układu oparto na założeniach przedstawionych we wstępie. Pominięto strumienie pary z dławnicowych uszczelnień labiryntowych, jak też przyjęto równość strumieni pary dopływającej i wypływającej z przegrzewacza międzystopniowego. Pozostałe założenia, np. dotyczące braku strat ciepła w wymiennikach, mają charakter klasyczny [4]. Ponadto przyjęto, iż znane są wartości sprawności wewnętrznych i mechanicznych urządzeń oraz wartości ciśnienia i temperatury w poszczególnych punktach obiegu. Założono także równomierne obciążenie równoległych par wymienników w układzie regeneracji wysokociśnieniowej. Na podstawie znanych parametrów termicznych w poszczególnych punktach można wyznaczyć wartości entalpii właściwych. Jak wspomniano, do wyznaczania wielkości kalorycznych pary wodnej i wody wykorzystano procedury numeryczne [6]. Entalpię właściwą pary wodnej po rozprężeniu w turbinie obliczano numerycznie korzystając z definicji sprawności wewnętrznej turbiny.

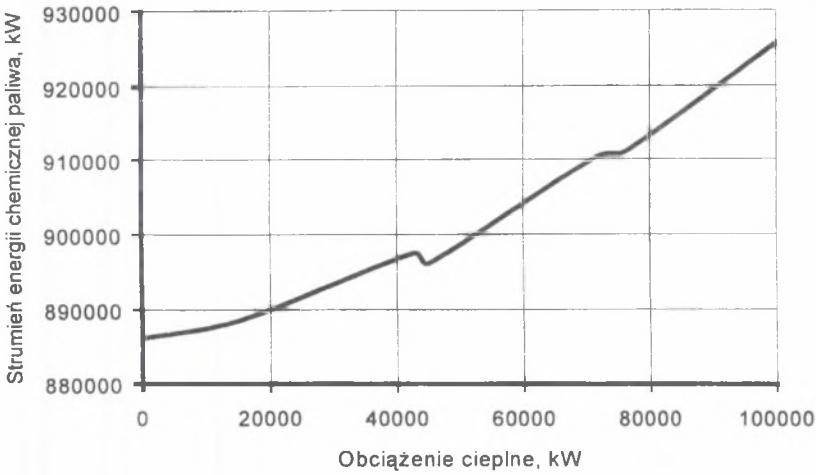
Danymi do obliczeń są: założone wartości ciśnienia i temperatury czynnika obiegowego w zaznaczonych na rys.1 punktach, strumień wody w wymiennikach ciepłowniczych, wartości stałe sprawności wewnętrznych i mechanicznych urządzeń oraz zmienna sprawność kotła, jak też strumień pary wytwarzanej w kotle (pierwszy wariant obliczeń) bądź wielkość wytwarzanej mocy elektrycznej (drugi z rozpatrywanych wariantów). Rozwiązanie układu 73 równań pozwala na wyznaczenie strumieni czynnika w poszczególnych punktach obiegu, mocy wewnętrznych i mechanicznych turbiny oraz mocy mechanicznej doprowadzanej do głównej pompy wody zasilającej. Ponadto przy założonej wydajności kotła wyznaczana jest moc elektryczna wytwarzana przez generator, w przypadku zaś założenia stałej mocy elektrycznej bloku obliczany jest strumień energii chemicznej doprowadzanej do kotła.

Układ 73 równań przekształcono, eliminując część niewiadomych i otrzymując ostatecznie układ 27 algebraicznych równań liniowych. Tak otrzymany układ rozwiązano wykorzystując metodę eliminacji Gaussa [9]. Po rozwiązaniu tego układu, na podstawie pozostałych wyeliminowanych zależności wyznaczono pozostałe poszukiwane wielkości. Ponadto dla każdego z wariantów obliczono sprawność cząstkową bloku brutto równą ilorazowi mocy elektrycznej turbiny i strumienia energii chemicznej paliwa doprowadzonego do kotła. Tym samym pominięto zużycie energii elektrycznej na potrzeby własne bloku.

4. WYNIKI OBLICZEŃ

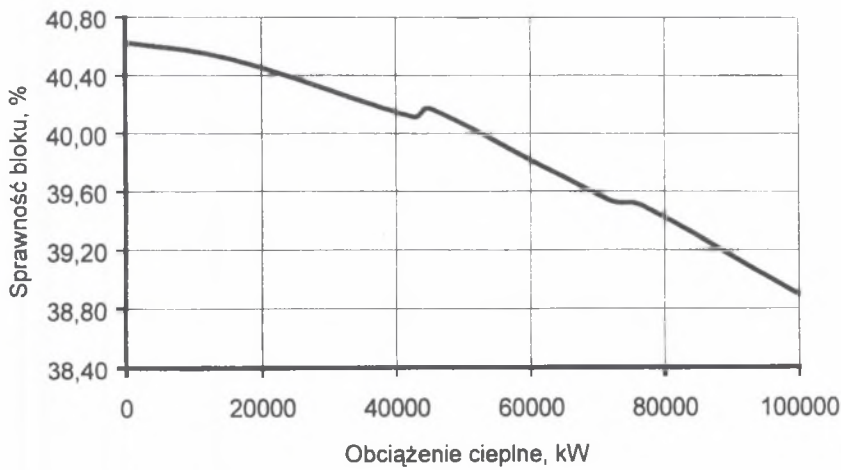
Przedstawiony model matematyczny bloku 360 MW z wymiennikami ciepłowniczymi posłużył do przeprowadzenia analizy wpływu dodatkowego poboru pary z upustów turbiny dla celów wytworzenia ciepła grzejnego. Jak wspomniano we wstępie, rozpatrywano przypadek, gdy możliwy jest wzrost wydajności kotła, zapewniający produkcję energii elektrycznej na określonym stałym poziomie, przy równoczesnym pokryciu zapotrzebowania na ciepło grzejne. Oczywiste jest, iż wykorzystanie energii pary upustowej dla potrzeb ciepłowniczych powoduje zwiększenie zużycia paliwa w kotle, a tym samym wpływa na cząstkową elektryczną sprawność bloku. W przeprowadzonych dla tego przypadku obliczeniach uwzględniono charakterystykę kotła oraz charakterystykę sieci ciepłowniczej [10]. Na rysunkach 2 i 3 przedstawiono zależność strumienia energii chemicznej paliwa doprowadzanego do kotła oraz zależność cząstkowej sprawności elektrycznej bloku od obciążenia cieplnego wymienników ciepłowniczych.

W drugim z analizowanych przypadków założono, iż wydajność kotła jest stała, dodatkowy zaś pobór pary z upustów turbiny powoduje spadek mocy bloku. Podobnie jak w pierwszym z rozpatrywanych przypadków obliczenia przeprowadzono dla założonych



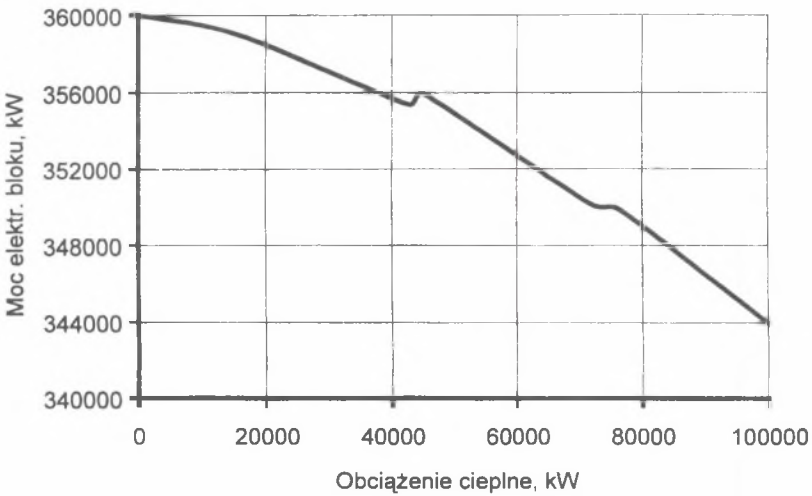
Rys.2. Zależność strumienia energii chemicznej doprowadzanej do kotła od obciążenia wymienników ciepłowniczych (przy stałej mocy elektrycznej bloku)

Fig.2. The stream of hard coal chemical energy consumed by boiler as a function of the heat powe generated in heat exchangers for heat engineering system (the value of the electric power generate by turbogenerator is constant)



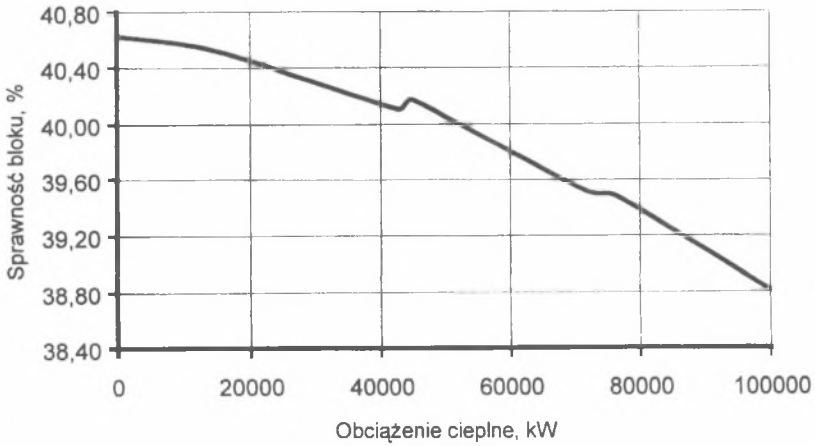
Rys.3. Zależność cząstkowej sprawności brutto bloku elektrowni od obciążenia cieplnego wymienników ciepłowniczych (przy stałej mocy elektrycznej bloku)

Fig.3. The partial electrical unit gross efficiency as a function of the heat power generated in heat exchangers for heat engineering system (the value of the electric power generated by turbogenerator isconstant)



Rys.4. Zależność mocy elektrycznej bloku od obciążenia cieplnego wymienników ciepłowniczych (przy stałej wydajności kotła)

Fig. 4. The electric power of the unit as a function of the heat power generated in heat exchangers fo heat engineering system (the value of the steam stream generated in boiler is constant)



Rys.5. Zależność cząstkowej sprawności brutto bloku elektrowni od obciążenia wymienników ciepłowniczych (przy stałej wydajności kotła)

Fig. 5. The partial electrical unit gross efficiency as a function of the heat power generated in exchangers for heat engineering system (the value of the steam stream generated in boiler is constant)

wartości obciążenia cieplnego wymienników ciepłowniczych, uwzględniając przy tym charakterystykę sieci z tymi wymiennikami [10]. Otrzymane rezultaty pokazano na rys. 4 i 5. Przedstawiają one zależność pomiędzy obciążeniem wymienników ciepłowniczych a wytwarzaną mocą elektryczną (rys.4) oraz pomiędzy obciążeniem wymienników ciepłowniczych a sprawnością cząstkową brutto bloku elektrowni (rys.5).

5. WNIOSKI I UWAGI KOŃCOWE

W pracy przedstawiono w skrócie model matematyczny bloku 360 MW dla założeń upraszczających przedstawionych we wstępie, na podstawie którego przeprowadzono obliczenia cieplne dla rozważanego układu. Celem analiz było określenie wpływu dodatkowego poboru pary upustowej, służącej do podgrzewania wody sieciowej dla potrzeb systemu ciepłowniczego. Otrzymane rezultaty wskazują, iż dla maksymalnej przyjmowanej w obliczeniach wartości obciążenia cieplnego spadek elektrycznej sprawności cząstkowej bloku jest stosunkowo nieduży. Dotyczy to obu rozpatrywanych przypadków. Należy ponadto uwzględnić fakt, iż w rozpatrywanym układzie możliwe jest zwiększenie strumienia pary świeżej, co zapewnia utrzymanie produkcji energii elektrycznej na określonym poziomie, przy równoczesnym wytwarzaniu ciepła grzejnego.

W pracy przedstawiono wyniki wyłącznie analizy termodynamicznej, o celowości zastosowania zaś takiego rozwiązania decyduje szereg innych czynników, jak np. możliwość technicznej realizacji przedsięwzięcia, względy ekologiczne, przede wszystkim zaś jednak analiza ekonomiczna.

LITERATURA

1. Mańkowski S., *Wybór źródeł ciepła dla Opola* (perspektywa lat 2010-2020), Energetyka 2/1988
2. Plebankiewicz M., Wielgusiewicz W., *O problemach wyboru źródeł ciepła dla Opola*, Energetyka 3/1998
3. Szargut J., Zagadnienie doboru źródeł ciepła dla Opola, Energetyka 7/1998
4. Portacha J., *Identyfikacja układów cieplnych siłowni klasycznych i jądrowych w stanie ustalonym*, Prace Nauk. Mechanika 44, Pol. Warszawska, Warszawa 1977
5. Hanuszkiewicz M., Składzień J., *Analiza wpływu wybranych parametrów na sprawność elektrowni zasilanej parą nasyconą*, Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, s,.Energetyka, 108, Gliwice 1990

6. Praca zbiorowa (Kurpisz K., Białecki R., Skorek J., Nowak A., *Oprogramowanie do obliczania parametrów pary wodnej*, Instytut Techniki Cieplnej Politechniki Śląskiej
7. Matla R., *Formuły aproksymacyjne do obliczeń technicznych wielkości termodynamicznych wody i pary wodnej przy zastosowaniu ETO*, I i II, Gospodarka Paliwami i Energią 8-9, 10 1973, 9-12,11-16
8. Matla R., *Optymalizacja obliczeń wielkości termodynamicznych czynnika roboczego w elektrowniach cieplnych,* Prace Nauk. Elektryka 25, Pol. Warszawska, Warszawa 1973
9. Szmelter J., *Metody komputerowe w mechanice*, PWN, Warszawa 1980
10. Szyszka P., *Analiza techniczno-ekonomiczna dostawy ciepła z bloków 1-4 Elektrowni Opole dla miasta Opole*, praca końcowa wykonana w ramach studium podyplomowego: „Audyting energetyczny w przemyśle", Instytut Techniki Cieplnej Politechniki Śląskiej, Gliwice (praca niepublikowana)

Recenzent: Dr hab. inż. Stanisław Witczak
Prof. Politechniki Opolskiej

Abstract

In the paper there are given some results of thermal analysis of 360 MW power station unit with additionally installed heat exchangers for heat engineering system. These exchangers are steam supplied and steam streams are some portions of turbine extraction streams. Determination of influence of additional steam bleeding on the working parameters of the power station unit was the main aim of the analysis performed. Two characteristic cases have been considered. The first one appears if there is possibility to increase the steam stream generated in steam boiler to such a level that the electric power generated by turbogenerator is constant in spite of generating the assumed heat power. In the second case the steam boiler output is constant i.e. the steam stream generated in boiler is constant. For the both cases there were performed multivariant calculations and there was done the analysis of the influence of the level of the heat power generated in heat exchangers for heat engineering system on the characteristic working parameters of the power station unit. The mathematical model of the power station unit with additionally installed heat exchangers consists of energy balance equations and mass balance equations for the elements of the power station unit for which the diagram is given in Fig. 1. There are also additional two groups of equations i.e. the efficiency equations and H_2O

thermal state equations. As the known values there were assumed the values of H_2O temperature and pressure in the points presented in Fig. 1 as well as the values of water streams in heat exchangers for heat engineering system, the internal and mechanical efficiency of pumps and of turbine parts and the steam stream from boiler in the first case and the turbogenerator electric power in the second case. The exemplary results of calculations performed are given in Figs. 2 - 5. These Figures present values of the stream of hard coal chemical energy consumed by boiler, the partial electrical unit gross efficiency, the electric power of the unit and once more the partial electrical unit gross efficiency as the functions of the heat power generated in heat exchangers for heat engineering system. Figs. 2 and 3 are referred to the case with constant value of the electric power generated by turbogenerator while Figs. 4 and 5 are referred to the case with the constant value of the steam stream generated in boiler