

Jan SKŁADZIEN, Krzysztof WILK, Kazimierz KURPISZ
Instytut Techniki Ciepłej

WPLYW SKŁADU WĘGLA NA PARAMETRY SPALIN W WYSOKOTEMPERATUROWEJ KOMORZE SPALANIA GENERATORA MHD

Streszczenie: W pracy przedstawiono wyniki analizy wpływu składu węgla kamiennego, wstępnego stosunku nadmiaru powietrza i udziału posiewu w spalinach na adiabatyczną temperaturę spalania oraz przewodność elektryczną spalin uzyskanych w wysokotemperaturowej komorze siłowni MHD. Uwzględniono pięć typów węgla. Obliczenia przeprowadzono przy założeniu równowagowego składu spalin.

1. WSTĘP

Analiza wysokotemperaturowego członu siłowni MHD-parowej doczekała się wielu publikacji. Prezentowane są [1, 2, 3, 4] wartości najważniejszych parametrów pracy siłowni MHD, takich jak: stosunek nadmiaru i temperatura powietrza doprowadzanego do wysokotemperaturowej komory spalania, udział posiewu jonizującego w spalinach, ciśnienie wzdłuż kierunku przepływu spalin, prędkość spalin w kanale roboczym MHD. Analizowany jest wpływ wymienionych parametrów na temperaturę, skład, przewodność elektryczną spalin czy gęstość generowanej mocy elektrycznej [4, 5, 6, 7]. Brak jest natomiast danych na temat związku między tymi i innymi parametrami charakterystycznymi dla układu MHD a składem węgla lub jego wartością opałową. W dostępnych opisach projektów siłowni z generatorem MHD podaje się zaś bez komentarza, że wartość opałowa węgla kamiennego spalane go w takiej siłowni wynosić powinna ok. 25 MJ/kg.

Celem niniejszej pracy jest określenie wpływu składu paliwa i jego wartości opałowej na adiabatyczną temperaturę spalania węgla w komorze wysokotemperaturowej oraz na przewodność elektryczną opuszczających ją spalin. Adiabatyczna temperatura spalania, ściśle związana z rzeczywistą temperaturą spalin przy wypływie z komory, jest jednym z najważniejszych parametrów pracy elektrowni MHD-parowej. Podwyższenie jej przy stałej wartości udziału posiewu powoduje wzrost stopnia jonizacji spalin, a zatem i ich przewodności elektrycznej. Duża wartość tej temperatury stwarza nadto warunki do głębszej ekspansji spalin w dyszy rozprężającej, a więc uzyskiwanie większych prędkości przepływu spalin przez kanał roboczy. W rezultacie

podwyższenia temperatury spalin zwiększa się zatem gęstość generowanej w kanale MHD mocy elektrycznej.

2. OPIS INSTALACJI MHD-PAROWEJ

Uproszczony schemat elektrowni kombinowanej MHD-parowej pokazano na rys. 1. Na schemacie tym wyróżnić można dwa człony. Człon wysokotemperaturowy obejmuje wysokotemperaturową komorę spalania (KS), dyszę rozprężającą (DB), kanał roboczy MHD (KR), dyfuzor (D) i podgrzewacze powietrza II stopnia (PII). W części klasycznej elektrowni znajduje się natomiast kocioł parowy z podgrzewaczami wody oraz typowa maszynownia.

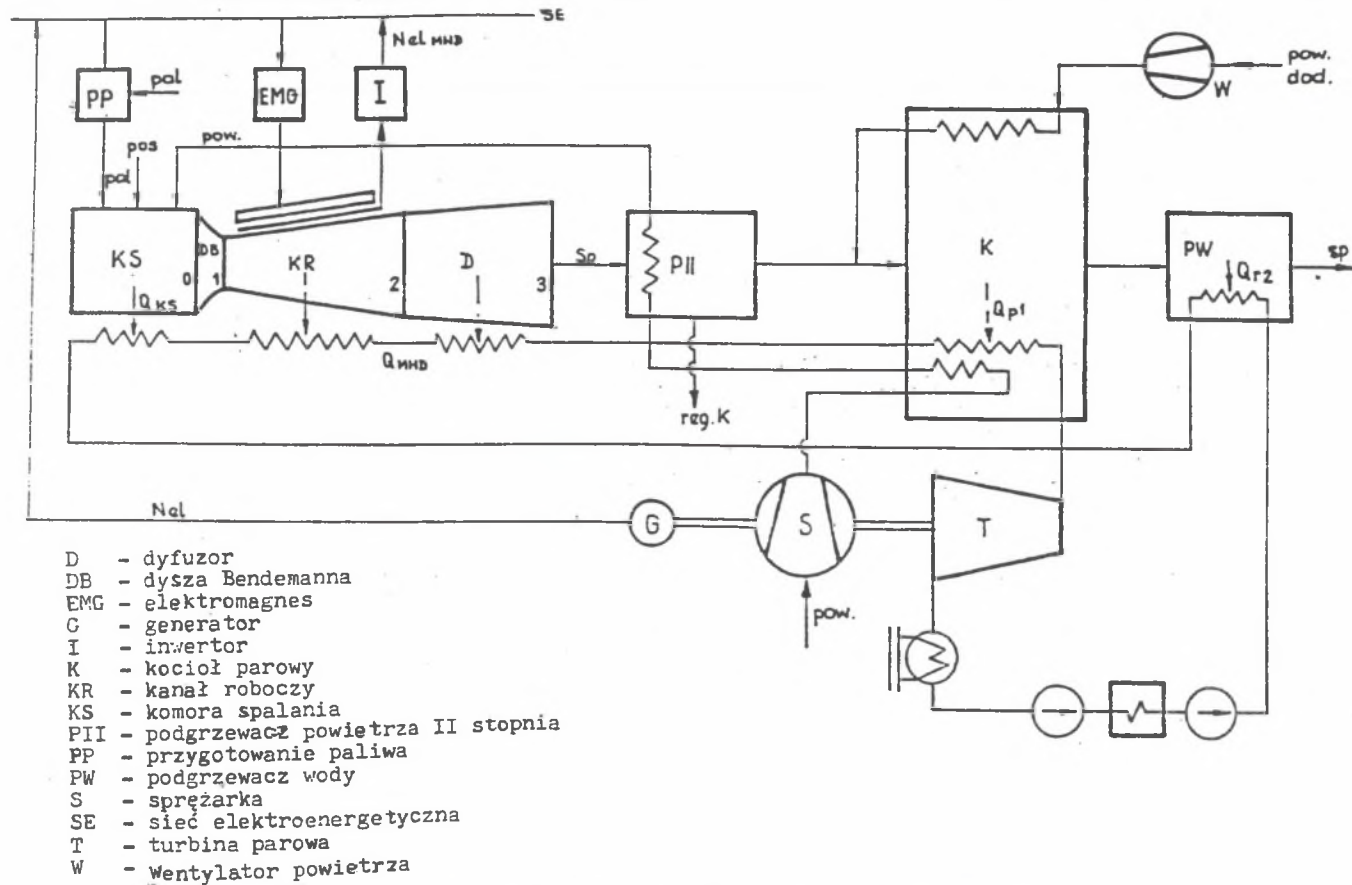
Do komory spalania doprowadzane są: paliwo, utleniacz, a w końcowej części komory dodatkowo posiew jonizujący. Paliwem może być pył węgla kamiennego (komora jest wtedy cyklonowa) lub gaz. W charakterze utleniacza stosować można powietrze atmosferyczne [1, 2] lub powietrze wzbogacone w tlen [3]. Stosunek nadmiaru tlenu powinien wynosić ok. 0,9, z uwagi na maksimum temperatury spalin [5, 6]. Zadaniem posiewu jest zapewnienie wymaganego stopnia jonizacji spalin w możliwych do uzyskania w instalacji przemysłowej temperaturach. W związku z tym powinna to być substancja o stosunkowo niskim potencjale jonizacji. Przewiduje się, że w charakterze posiewu stosowany będzie potas, doprowadzany w postaci wodnego roztworu węglanu K_2CO_3 .

Komorę spalania opuszczają zjonizowane spaliny o temperaturze 2500 - 3000 K, a w przypadku zastosowania węgla jako paliwa także ciekły żużel. Spaliny są następnie przyspieszane w dyszy rozprężającej do prędkości 800 - 1400 m/s [1, 2, 3]. Poruszając się z tak dużą prędkością w polu magnetycznym kanału roboczego formują one prąd elektryczny. Gęstość wytwarzanej mocy elektrycznej jest wprost proporcjonalna do iloczynu kwadratu prędkości i przewodności elektrycznej spalin [6]. W inwertorze (I) generowany prąd stały transformowany jest na prąd o zmiennym napięciu.

W kanale roboczym MHD spaliny rozprężają się do ciśnienia ok. 0,05 - 0,1 MPa. Aby zapewnić ich prawidłowy przepływ przez podgrzewacze oraz część konwencjonalną elektrowni spręża się je w dyfuzorze do ciśnienia ok. 0,115 MPa [1, 3].

W kotle (K) spaliny opuszczające część wysokotemperaturową elektrowni są dopalane w doprowadzonym dodatkowo powietrzu. Maszynownia elektrowni MHD-parowej nie różni się w zasadzie od maszynowni elektrowni klasycznej.

Przewiduje się, że ze względów konstrukcyjnych ściany urządzeń członu wysokotemperaturowego elektrowni będą chłodzone wodą wykorzystywaną następnie w obiegu parowym elektrowni. Temperatura podgrzania powietrza do spalania wynosić ma ~ 1800 K [1]. Wysoka temperatura podgrzania utleniacza jest konieczna ze względu na żądaną temperaturę spalin w kanale roboczym MHD. Podgrzanie powietrza atmosferycznego do podanej temperatury jest jednym z trudniejszych problemów konstrukcyjnych. Wymaga bowiem, przy zasila-



Rys. 1. Schemat instalacji elektrowni kombinowanej MHD-parowej
 Fig. 1. Scheme of the combined MHD - steam power plant

Wpływ składu węgla na parametry spalnin...

niu rekuperatorów spalinami z posiewem, specjalnych wypełniaczy ceramicznych, niewrażliwych na działanie ciekłego posiewu. Rozważa się w związku z tym w pewnych instalacjach możliwość wykorzystania autonomicznych podgrzewaczy opalanych gazem. Ostatnie rozwiązanie jest jednak mniej korzystne z punktu widzenia termodynamicznego, gdyż powoduje powstawanie dodatkowych strat egzergii.

Z uwagi na znaczny koszt posiewu jonizującego przewiduje się jego odzyskiwanie. Z podgrzewaczy (PII) skroplony posiew odprowadzany będzie do instalacji regenerującej. Dodatkowym walorem takiego obiegu posiewu w urządzeniu jest fakt, że posiew wiąże prawie całą siarkę zawartą w spalinach, w instalacji do odzyskiwania posiewu wytwarzany jest natomiast siarczan wapnia.

Podstawowe korzyści płynące z zastosowania generatorów MHD w elektrowniach parowych to wykorzystanie dużej różnicy temperatur między spalinami a czynnikiem obiegowym, co zapewnia sprawność sięgającą 51 - 55% [1, 3] oraz dużą czystość spalin odprowadzanych do otoczenia.

3. SKŁAD SPALIN

W warunkach termicznych panujących w generatorze MHD, tzn. przy temperaturze 3000 - 2000 K i ciśnieniu 12 - 0,1 MPa, spaliny zawierają znaczną liczbę produktów tworzących rzeczywisty roztwór heterogeniczny. Liczba produktów uwzględnianych w składzie wysokotemperaturowych spalin jest różna w różnych opracowaniach i mieści się w przedziale od 13 do 170 [8, 9, 10, 4]. Realizacja numeryczna obliczeń przy znacznej liczbie składników spalin wymaga dużych maszyn cyfrowych i długiego czasu ich pracy. W analizach technicznych postępowanie takie jest niecelowe i nieefektywne. Produkty o udziałach mniejszych niż 10^{-3} nie mają bowiem istotnego wpływu na kaloryczne parametry spalin. Wyjątek stanowią składniki zawierające potas, który stanowi posiew jonizacyjny i który powinien być uwzględniany przy obliczaniu przewodności elektrycznej spalin bez względu na jego ilość.

Jak już wspomniano, spaliny tworzą roztwór heterogeniczny gaz - ciecz. Na ściankach urządzenia w końcowej jego części niewykluczone jest wystąpienie również zestalonych składników. Najważniejsze ciekłe składniki pochodzą z popiołu - wg [3, 8] są to: Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO, Mg oraz K_2SiO_3 , KOH. Może też wystąpić kondensacja niektórych gazowych składników spalin. Łączny udział fazy ciekłej jest jednak bardzo mały. Można się spodziewać, że nie przekracza on $\sim 0,11\%$ masy spalin. Oznacza to, że w analizach o charakterze technicznym można pominąć zarówno bezpośredni wpływ udziału fazy ciekłej na parametry spalin, jak i na ich skład. Założenie takie jest tym bardziej uzasadnione, że faza ciekła osadza się głównie na ściankach urządzenia.

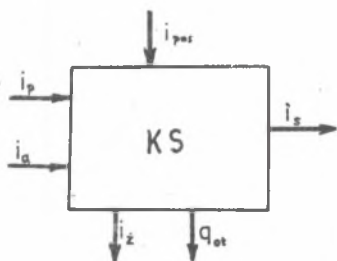
Na podstawie powyższych uwag przyjęto w niniejszej pracy następujące ważniejsze założenia:

1. Spaliny są roztworem homogenicznym (gazowym) i nie zawierają żadnych produktów pochodzących z popiołu.
2. Wszystkie składniki spalin zachowują się jak gazy półdoskonałe.
3. Spośród istniejących składników spalin wystarczy uwzględnić obecność tych, które ze względu na ilości, w jakich występują, wyraźnie wpływają na właściwości kaloryczne i przewodność elektryczną spalin.
4. Składniki spalin są ze sobą w równowadze chemicznej.

Na podstawie analizy wartości stałych równowagi niezależnych reakcji chemicznych zachodzących w roztworze [10] oraz wyników wcześniejszych prac [11] ograniczono liczbę składników spalin do 15 najważniejszych produktów, którymi są: H, O, K, O₂, OH, NO, N₂, H₂, CO, CO₂, H₂O, KOH, KO, Ar, SO₂.

4. WYZNACZANIE ADIABATYCZNEJ TEMPERATURY SPALANIA

W wysokotemperaturowej komorze spalania generatora MHD realizowane są dwa zasadnicze procesy, tj. wytwarzanie spalin o temperaturze zapewniającej żądany stopień ich jonizacji oraz usuwanie ciekłego żużla. Do komory doprowadzane są: paliwo, utleniacz i posiew jonizujący. Ze względu na ograniczoną wytrzymałość termiczną materiałów stosowanych do budowy urządzenia, rzeczywista komora wymaga chłodzenia ścian. W bilansie energii komory należy zatem uwzględnić sześć składników -- strumienie energii paliwa, utleniacza i posiewu zasilaające komorę oraz wyprowadzane z komory strumienie energii spalin, ciekłego żużla i ciepła. Schemat ideowy komory wraz z wymienionymi strumieniami przedstawiono na rys. 2. Przy założeniu braku kontaktu cieplnego komory spalania z otoczeniem równanie bilansu energii dla niej przyjmuje postać:



Rys. 2. Składniki bilansu energii komory spalania

Fig. 2. Components of energy balance for combustion chamber

$$i_p + i_a + i_{pos} = i_s + i_z, \quad (1)$$

gdzie:

- i_p - entalpia paliwa,
- i_a - entalpia powietrza,
- i_{pos} - entalpia wodnego roztworu posiewu,
- i_s - entalpia spalin,
- i_z - entalpia ciekłego żużla.

Wszystkie wielkości w równaniu (1) wygodnie jest odnieść do 1 kg paliwa. Przy sporządzaniu bilansu przyjęto nadto następujące założenia:

1. Temperatura odniesienia jest równa $T_0 = 0$ K.
2. Paliwo doprowadzane do komory ma temperaturę otoczenia $T_{ot} = 293$ K
3. Powietrze wraz z wilgocią podgrzewane jest przed doprowadzeniem do komory do temperatury T_a . W przykładowych obliczeniach przyjęto $T_a = 1800$ K.
4. Posiew doprowadzany jest w postaci wodnego roztworu K_2CO_3 i ma temperaturę otoczenia oraz zawiera 50% H_2O .
5. Ze względu na małą, w porównaniu z innymi składnikami bilansu (1), wartość entalpii tworzenia roztworu posiewu $K_2CO_3 - H_2O$ może być ona pominięta w tym bilansie.
6. Tylko 90% siarki zawartej w paliwie ulega spalaniu, pozostała część zaś jest odprowadzana z komory z ciekłym żużlem [12].
7. Popiół nie ulega w procesie spalania żadnym przemianom chemicznym.
8. Entalpie strumieni wyrażone są przez sumę entalpii tworzenia w temperaturze 0 K oraz entalpii fizycznych będących przyrostami entalpii od poziomu 0 K do rzeczywistej temperatury danego strumienia.

Z równania (1) można wyznaczyć entalpię spalin, która jest funkcją ich temperatury T:

$$i_s = i_p + i_a + i_{pos} - i_z \quad (2)$$

$$i_s = i_s(T) = i_s(T_{ad}) \quad (3)$$

Znając entalpię i_s oraz ciśnienie spalin w komorze spalania można wyznaczyć ich adiabatyczną temperaturę T_{ad} . Można w tym celu posłużyć się opracowanym wcześniej odpowiednim wykresem, np. we współrzędnych i , s lub metodą iteracyjną. W obu przypadkach konieczne jest korzystanie z procedur do wyznaczania równowagowego składu spalin dla zadanych wartości ciśnienia i temperatury.

5. PRZEWODNOŚĆ ELEKTRYCZNA SPALIN

Obliczanie przewodności elektrycznej zjonizowanych gazów z uwzględnieniem wszystkich występujących w gazie nośników ładunku elektrycznego jest sprawą nader kłopotliwą. W rozważanym przypadku wśród nośników ujemnego ładunku elektrycznego występują nie tylko elektrony, lecz także aniony i to zarówno jednowjemne, np. O_2^- , OH^- , O^- , NO_2^- , jak i takie, które powstały w wyniku jonizacji wielostopniowej. Wszystkie one poruszają się w kierunku elektrody, formując prąd elektryczny, Ich udział w zjawisku jest jednak bardzo różny, zależnie od koncentracji, w jakich występują. Analizując stałe równowagi reakcji jonizacji oraz dane zawarte w pracy [25]

stwierdzono, że koncentracja elektronów jest przynajmniej o jeden rząd wyższa aniżeli koncentracja wszystkich jonów ujemnych, a stosunek koncentracji dominującego w spalinach kationu K^+ do łącznej koncentracji pozostałych kationów jest rzędu $10^4 - 10^5$. Celowe i uzasadnione jest więc założenie we wstępnych obliczeniach, że w spalinach występuje wyłącznie jonizacja jednostopniowa oraz że jedynymi nośnikami ładunku elektrycznego są elektrony i kationy K^+ .

Koncentracje elektronów i jonów w niniejszej pracy wyznaczono za pomocą równania Saha:

$$K = \frac{n_e n_i}{n_o} = \frac{2g_i}{2g_e} \frac{(2\pi m_e k T)^{3/2}}{h^3} \exp\left(-\frac{e U}{k T}\right), \quad (4)$$

gdzie:

- K - stała reakcji jonizacji danego związku (pierwiastka),
- n_e - koncentracja elektronów,
- n_i - koncentracja kationów,
- n_o - koncentracja obojętnych drobin,
- g_i, g_e - wagi statystyczne jonów i elektronów,
- h - stała Plancka,
- m_e - masa elektronu,
- e - ładunek elektronu,
- k - stała Boltzmana,
- T - temperatura spalin,
- U - potencjał jonizacji.

Uwzględniając, zgodnie z powyższymi założeniami, jedynie reakcję jednostopniowej jonizacji potasu, otrzymuje się:

$$K' = \frac{2g_i}{g_e} \frac{(2\pi m_e)^{3/2} (k T)^{5/2}}{h^3} \exp\left(-\frac{e U}{k T}\right), \quad (5)$$

przy czym

$$\frac{n_e}{n_o} = \left(K' \frac{z_K}{p}\right)^{1/2};$$

gdzie:

- p - ciśnienie spalin,
- z_K - udział molowy potasu w składzie spalin traktowanych jako obojętne elektrycznie.

Przewodność elektryczną obliczano za pomocą klasycznej formuły:

$$\sigma = 0,532 \frac{e^2 n_e}{(m_e k T)^{1/2} Q n_0}, \quad (7)$$

gdzie Q wyraża zastępczy przekrój czynny obojętnej drabiny spalin na zderzenie z elektronem. Przekrój Q wyznaczano z zależności

$$Q = \sum_{j=1}^N Q_j r_j, \quad (8)$$

gdzie:

Q_j - przekrój czynny na zderzenia z elektronem j -tej drobiny,
 r_j - molowy udział j -tej drobin w spalinach.

6. WYZNACZANIE RÓWNOWAGOWEGO SKŁADU SPALIN

Aby rozwiązać równanie (3), konieczne jest opracowanie procedur do wyznaczania równowagowego składu spalin. Ze względu na stosunkowo dużą liczbę uwzględnianych składników spalin do wyznaczenia ich udziałów wykorzystano metodę minimalizacji entalpii swobodnej. Zgodnie z przedstawionymi założeniami, entalpię i entropię spalin uzyskiwanych z 1 kg paliwa obliczano z zależności:

$$i = \sum_{j=1}^N n_j (M i)_j^0, \quad (9)$$

$$s = \sum_{j=1}^N n_j (M s_t)_j^0 - (M R) \sum_{j=1}^N n_j \ln \frac{n_j}{n} p_w, \quad (10)$$

gdzie:

$$n = \sum_{j=1}^N n_j,$$

i - entalpia spalin,

s - entropia spalin,

n_j - liczba kilomoli j -tego składnika spalin powstająca ze spalania 1 kg paliwa,

N - liczba składników spalin,

- $(M i)_j^{\emptyset}$ - właściwa kilomolowa entalpia całkowita składnika j uwzględniająca entalpię chemiczną w warunkach standardowych,
 $(M s_t)_j^{\emptyset}$ - właściwa kilomolowa entropia składnika j w danej temperaturze i pod ciśnieniem normalnym p_n , z uwzględnieniem entropii chemicznej w warunkach standardowych i izobarycznego przyrostu entropii,
 $p_w = p/p_n$ - ciśnienie względne spalin,
 p - ciśnienie całkowite spalin.

Przyjęto: $p_n = 101\ 325$ Pa, $T = 0$ K.

Entalpia właściwa $(M i)_j^{\emptyset}$ jest równa sumie właściwej entalpii fizycznej oraz właściwej entalpii chemicznej. Za tę ostatnią przyjęto entalpię tworzenia czystego składnika j . Na podstawie równań (9) i (10) entalpia swo-bodna G spalin odniesiona do 1 kg paliwa wyrażona jest przez formułę

$$G = i - T s = \sum_{j=1}^N n_j \left\{ (M i)_j^{\emptyset} - T \left[(M s_t)_j^{\emptyset} - (M R) \ln \frac{n_j}{n} p_w \right] \right\}. \quad (11)$$

Wyznaczanie składu równowagowego sprowadzało się więc do znalezienia takich wartości n_j ($j = 1, 2, \dots, N$), dla których potencjał Gibbsa osiągał minimum:

$$G(n_1, n_2, \dots, n_N) \longrightarrow \min ,$$

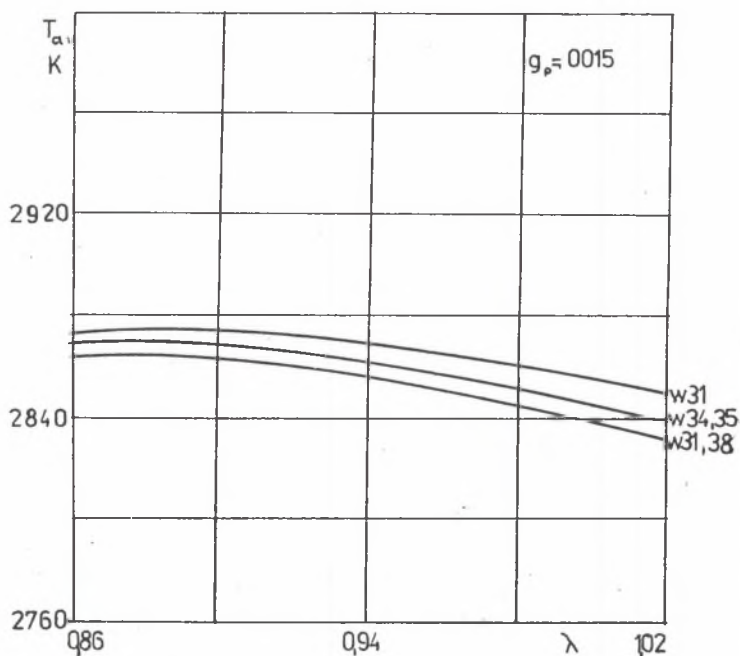
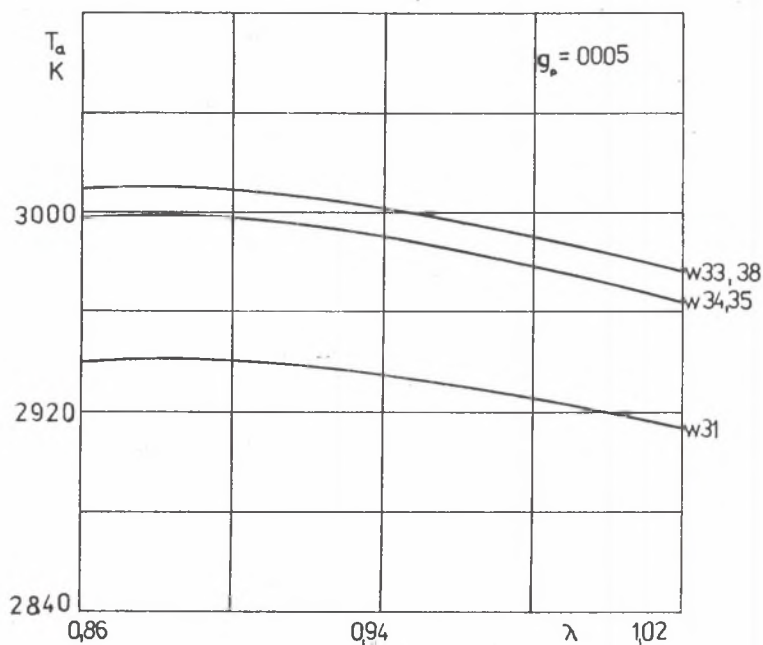
przy równoczesnym spełnieniu ograniczeń wynikających z nieujemnych wartości udziałów oraz z liniowych równań bilansów pierwiastków.

W literaturze znaleźć można opisy wielu metod służących do rozwiązywania tego typu zagadnień znajdowania minimum funkcji wielu zmiennych. Na podstawie przeprowadzonych analiz za najkorzystniejszą uznano tu metodę Nelder-Meada sprzężoną z metodą Mooka a-Jeevsa [13]. Pozwala ona z dużą dokładnością i w stosunkowo niedługim czasie wyznaczać poszukiwany równowagowy skład spalin.

7. WYNIKI OBLICZEŃ. WNIOSKI

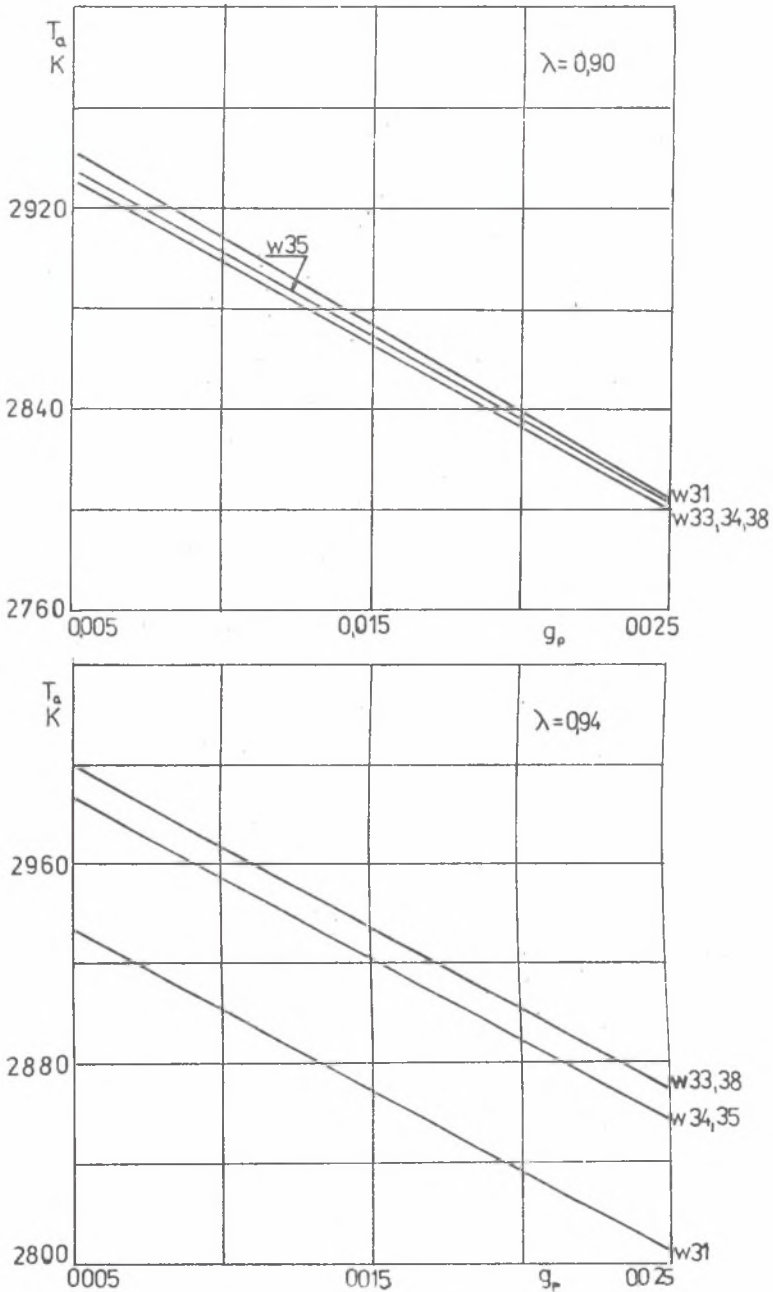
Opierając się na przedstawionych założeniach i równaniach przeprowadzono obliczenia adiabatycznej temperatury oraz przewodności elektrycznej spalin opuszczających komorę spalania dla pięciu typów węgla kamiennego. Charakterystyki rozpatrywanych węgli zestawiono w tabelicy 1. Obliczenia przeprowadzono dla pięciu wartości wstępnego stosunku nadmiaru powietrza:

$\lambda = 0,86; 0,90; 0,94; 0,98; 1,02$ oraz dla trzech wartości udziału posiewu w spalinach $g_p = 0,005; 0,015; 0,025$. Przyjęto następujący skład powietrza



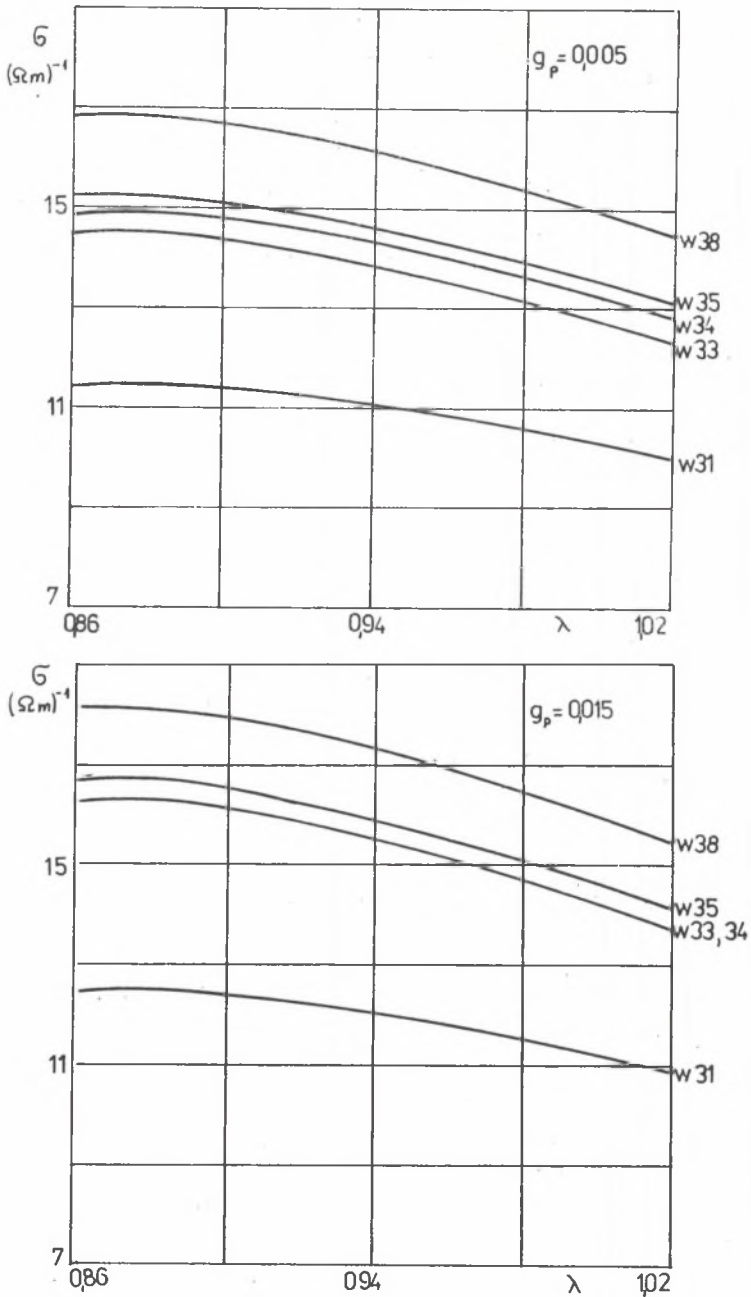
Rys. 3. Zależność adiabatycznej temperatury spalania od stosunku nadmiaru powietrza

Fig. 3. Dependence between adiabatic combustion temperature and air excess ratio



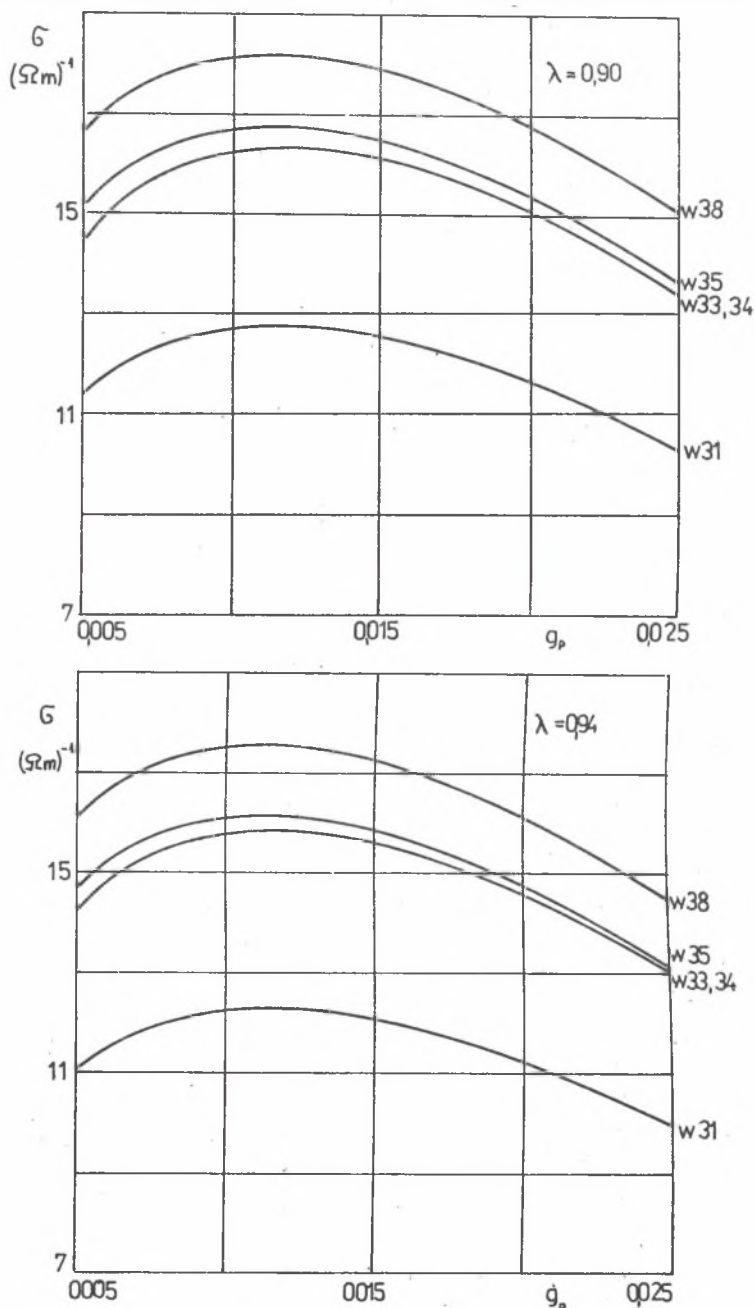
Rys. 4. Zależność adiabatycznej temperatury spalania od zawartości posiewu w spalinach

Fig. 4. Dependence between adiabatic combustion temperature and seeding contents in combustion gas



Rys. 5. Zależność przewodności elektrycznej spalin od stosunku nadmiaru powietrza

Fig. 5. Dependence between combustion gas electrical conductivity and air excess ratio



Rys. 6. Zależność przewodności elektrycznej spalin od zawartości posiewu
 Fig. 6. Dependence between combustion gas electrical conductivity and seed content

Tablica 1

Charakterystyka badanych typów węgla kamiennego

Wskaźnik	Węgiel kamienny typu				
	31	33	34	35	36
Wartość opałowa W_d , kJ/kg	24 500	30 000	32 300	32 400	33 800
Udziały gramowe składników, %					
c	65,83	74,00	80,07	81,93	86,01
h	4,70	5,42	5,12	4,66	4,28
n + n	2,14	2,26	2,32	2,32	1,90
o	12,83	8,57	5,59	4,19	2,85
w	10,00	5,00	2,00	2,00	1,00
p	4,50	4,75	4,90	4,90	3,96
Entalpia w temperaturze 20°C, i_p , kJ/kg ^{x)}	- 1634	236	91	91	596

x) Wielkość i_p jest sumą entalpii tworzenia paliwa w temperaturze 0 K i entalpii fizycznej liczonej od tej temperatury.

(udziały objętościowe): N_2 - 78%, O_2 - 21%, Ar - 1%. Wyniki przeprowadzonych obliczeń przedstawiono na wykresach - rys. 3 - 6. Z wykresów tych wynika następujące wnioski:

1. Wartość adiabatycznej temperatury spalania rośnie wraz z entalpią i_p węgla.
2. Istnieje optymalna wartość stosunku nadmiaru powietrza λ , dla której temperatura spalin jest maksymalna. Optymalna wartość λ praktycznie nie zależy od typu węgla i mieści się w przedziale 0,86 - 0,92.
3. Zwiększenie zawartości posiewu w spalinach obniża ich temperaturę. Podwyższenie udziału posiewu o 1% masy spalin powoduje przy tym obniżenie ich temperatury o 60 - 70 K. Wartość ta praktycznie nie zależy od przyjętego stosunku nadmiaru posiewu.
4. Rodzaj węgla wpływa na przewodność elektryczną spalin. Oddziaływanie to nie jest jednak wyłącznie wynikiem zależności pomiędzy temperaturą i przewodnością. Temperatura spalin jest czynnikiem silnie determinującym przewodność elektryczną - wzrost temperatury powoduje wzrost przewodności. Porównanie krzywych $T_a(\lambda)$ i $\sigma(\lambda)$ pozwala jednak stwierdzić, że przy tych samych wartościach λ i g_p oraz praktycznie równych temperaturach przewodność elektryczna spalin z węgla 38 jest wyraźnie większa aniżeli przewodność spalin uzyskiwanych ze spalin węgla 33. Jest to wynikiem różnic w składzie spalin. W przypadku węgla 33 większe są udziały produktów o dużej wartości przekroju Q w stosunku do ich udziałów w spalinach z węgla 38. Przy zbliżonym udziale potasu powoduje to obniżenie przewodności spalin otrzymywanych z węgla 33. Wyniki uzyskane

- dla pozostałych węgla również uwidaczniają wpływ składu paliwa na przewodność. Na przykład przewodność elektryczna spalin z węgla 35 jest wyższa przy tych samych wartościach λ i g_p niż przewodność spalin z węgla 33, pomimo iż w tym drugim przypadku temperatura spalin jest wyższa.
5. Krzywe $\delta = \delta(\lambda)$ mają kształt bardzo podobny do krzywych $T_a = T_a(\lambda)$. Oznacza to, że stosunek nadmiaru powietrza determinuje przewodność elektryczną spalin poprzez ich temperaturę. Zmiany stosunku nadmiaru powietrza w kierunku wzrostu temperatury spalin powodują równocześnie wzrost ich przewodności elektrycznej. Pozwala to stwierdzić istnienie wyraźnego maksimum zależności $\delta = \delta(\lambda)$. Wartość λ , której odpowiada maksymalna przewodność elektryczna spalin, nie zależy od składu węgla ani od wartości g_p i jest równa wartości λ optymalnej ze względu na maksimum temperatury spalin.
6. Istnieje optymalna wartość udziału posiewu, dla której przewodność elektryczna spalin osiąga maksimum. Z przeprowadzonych badań wynika, że wartość ta praktycznie nie zależy od składu paliwa ani od stosunku nadmiaru powietrza i mieści się ona w przedziale 0,010 - 0,015.

LITERATURA

- [1] Energy Conversion Alternatives Study - ECAS, General Electric, Phase II, Final Report, NASA, 1976.
- [2] TSU T.C., YOUNG W.E., WAY S.: Optimization Studies of MHD Steam Plants Electricity from MHD. Proc. of A Symposium of Magnetohydrodynamic Electrical Power Generation, vol. III, IAEA, Vienna 1966.
- [3] KIRILLIN W.A., SCZEJNDLIN A.E., KORJAGINA G.M.: Pierspektiwy wniędrowienija w energetiku kombinirowannych ustanowok. Fiziko-techniczeskie Problemy Soddanija MGDES, Materiały naučno-techniczeskiego so-wieszczanija stron-czlenow SEB SFRK. Kłiew 1984. Izd. Institut Wysokich Tiempieratur AN SSSR, Moskwa 1985..
- [4] DAS A.K., ROHATGI V.K.: Direct Coal Combustion for MHD-Effect of Seed-Slug Interactions. The 8th International Conference on MHD Power Generation, Moscow, Sept. 1983.
- [5] SKŁADZIEN J.: Uproszczona metoda analizy cieplnej wysokotemperaturowej komory spalania generatora MHD. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, s. Energetyka z. 92, Gliwice 1986.
- [6] SKŁADZIEN J., WILK K.: Analiza cieplna układu wysokotemperaturowego siłowni MHD-parowej. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, s. Energetyka z. 92, Gliwice 1986.
- [7] KOZŁOWSKI T., LICKI J., ŁOPUSZAŃSKA A., RYBICKI Z.: Rezultaty spalania węgla i półkoku na potrzeby elektrowni MHD. The 8th International Conference on MHD Power Generation, Moscow, Sept. 1983.
- [8] Ministerstwo Energietiki i Elektryfikacyi SSSR, Główniinprojekt, Energieticzeskij Institut im. G.M. Kriżzanowskogo: Tiepłofiziczeskie swojstwa chemiczeskich reagirujuszczich geterogeniennych smiesej, Moskwa 1973.
- [9] Tiepłofiziczeskie swojstwa chemiczeskich reagirujuszczich geterogeniennych sistem, Sbornik trudow, Moskwa 1975.

- [10] Itogi nauczno-issledowatielskich i opytно-konstruktorskich rabot za 1985 god, Nauczno-techniczeskij otczet, Moskwa 1975.
- [11] KURPISZ K., SKŁADZIEN J., WILK K.: Wpływ wybranych składników wysokotemperaturowych zjonizowanych spalin na ich entalpię i entropię. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, s. Energetyka z. 108 (w druku).
- [12] JUDA J.: Ochrona powietrza atmosferycznego, WNT, Warszawa 1974.
- [13] KURPISZ K.: Problemy obliczeniowe wyznaczania składu równowagowego roztworu gazów pódoskonałych. Archiwum Termodynamiki. Artykuł przesłany do redakcji.

Rencenzent:

Prof. dr hab. inż. Zbigniew Pietrzyk

ВЛИЯНИЕ СОСТАВА УГЛЯ НА ПАРАМЕТРЫ ГАЗОВ СГОРАНИЯ
В ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЙ КАМЕРЕ СГОРАНИЯ МГД ГЕНЕРАТОРА

Р е з ю м е

В работе представлены результаты анализа влияния состава каменного угля на адиабатическую температуру сгорания в высокотемпературной камере МГД-установки. При анализе учтено пять типов угля, а также при расчетах принято химическое равновесие газов сгорания.

INFLUENCE OF COAL COMPONENTS ON PARAMETERS OF COMBUSTION GASSES
IN HIGH-TEMPERATURE CHAMBER OF A MHD GENERATOR

S u m m a r y

Some results of investigations on the influence of coal components on the adiabatic temperature of combustion in a high-temperature chamber of a MHD-power plant are given. Five types of coal are taken into account. The calculations were carried out assuming the chemical equilibrium state of the combustion gasse.