

JAN SKŁADZIEN

Katedra Podstaw Techniki Ciepłej

ANALIZA TERMODYNAMICZNA KOMORY SPALANIA
W GENERATORZE MPD NA PALIWO GAZOWE

Streszczenie. Rozpatrzono możliwości uzyskania wysokiej temperatury spalin w komorze generatora MPD rzędu 2500 + 3000 K przy spalaniu paliwa gazowego w podgrzanym powietrzu wzbogaconym tlenem. Podano zależności pomiędzy ilością tlenu, którą należy dostarczyć w stanie czystym, a temperaturą podgrzanego wstępnie powietrza przy założonej temperaturze spalin. Szczególną uwagę zwrócono na wpływ dysocjacji chemicznej.

1. Wstęp

W związku z coraz liczniejszymi pracami na temat generatorów magneto-plazmo-dynamicznych (MPD) zasilanych spalinami, pojawia się potrzeba doboru komory spalania, która gwarantowałaby uzyskanie odpowiedniej temperatury spalin. Wysoka temperatura spalin na wypływie z komory jest niezbędne ze względu na przewodnictwo elektryczne spalin przepływających przez kanał roboczy generatora MPD.

Wysoką temperaturę można osiągnąć w komorze spalania albo spalając paliwo w powietrzu podgrzanym do wysokiej temperatury, albo przez dostarczenie do komory spalania powietrza wzbogaconego tlenem. W tym drugim przypadku ważna jest zależność pomiędzy entalpią (a więc temperaturą) podgrzanego powietrza i masą tlenu, którym należy wzbogacić powietrze, jeżeli temperaturę spalin na wypływie z komory ma być niezmienna. Znajomość takiej zależności jest niezbędna przy przeprowadzaniu obliczeń optymalizacji procesu podgrzania powietrza. Zagadnienie to występuje przy projektowaniu elektrowni z generatorem MPD. Koszt jednostkowy produkcji energii elektrycz-

nej zależy bowiem m. in. od kosztów inwestycyjnych, w tym od kosztów tlenowni i podgrzewacza powietrza. Im zaś wyższa jest temperatura podgrzewanego powietrza przed komorą spalania, tym większy jest koszt przekazywacza ciepła z powodu konieczności stosowania większej powierzchni ogrzewalnej oraz używania coraz droższych materiałów. Z kolei podwyższenie temperatury powietrza na dopływie do komory powoduje zmniejszenie udziału tlenu dostarczanego do komory, a tym samym umożliwia stosowanie uniejszej i tańszej tlenowni o mniejszej wydajności.

Analizę termodynamiczną procesu spalania przeprowadzono dla paliwa gazowego. Założono, że spalany jest gaz z zagłębia rybnickiego o następującym składzie:

$$\text{CH}_4 = 0,491; \text{CO}_2 = 0,002; \text{C}_2 = 0,105; \text{N}_2 = 0,402.$$

Wartość opałowa tego roztworu wynosi:

$$W_d = 17\,520 \text{ kJ/um}^3 \quad (p_u = 1 \text{ bar}, t_u = 0^\circ\text{C})$$

Stosunkowo mała zawartość metanu w paliwie spowodowana jest rozcieńczeniem gazu ziemnego powietrzem.

Wszystkie załączone do tej pracy rysunki dotyczą spalania tylko tego paliwa.

2. Bilans energijny komory spalania

Bilans energijny komory spalania przeprowadzono w oparciu o entalpie tworzenia [5]. W bilansie wszelkie wielkości kaloryczne odniesiono do temperatury umownej $t_u = 0^\circ\text{C}$. Za temperaturę otoczenia przyjęto $t_{ot} = 15^\circ\text{C}$. Taką temperaturę ma paliwo i czysty tlen doprowadzany do komory.

Bilans energijny w odniesieniu do komory, w której zachodzi ustalony proces izobaryczny spalania ma następującą postać:

$$I_p + H_p + V_o \cdot I_o + V_a \cdot I_a = Q_{\mu} + \sum_1 V_i \cdot I_i + \sum_1 V_i \cdot H_{p,i} \quad (1)$$

gdzie:

- I'_p - entalpia (fizyczna) właściwa paliwa,
- H'_p - entalpia tworzenia jednostki materii paliwa,
- V'_o - ilość tlenu doprowadzanego do komory,
- I'_o - entalpia właściwa tlenu,
- V'_a - ilość powietrza doprowadzanego do komory,
- I'_a - entalpia właściwa powietrza,
- $Q_{\bar{\mu}}$ - ciepło wypływające z komory do otoczenia,
- V''_i - ilość i-tego składnika spalin,
- I''_i - entalpia właściwa i-tego składnika spalin na wypływie z komory spalania,
- H''_{pi} - entalpia tworzenia i-tego składnika spalin [5].

W równaniu (1) wielkości właściwe, jak I , H_p mają jednostkę kJ/um^3 materii (przy $t_u = 0^\circ\text{C}$ i $p_u = 1 \text{ bar}$), natomiast V i $Q_{\bar{\mu}}$ odnoszą się do 1 um^3 paliwa i mają jednostkę $\text{um}^3/\text{um}^3_p$ oraz kJ/um^3_p . Entalpie tworzenia sąbrane dla 0°C i od tej temperatury liczone są entalpie fizyczne.

Jeśli założy się, że w spalinach nie występuje zjawisko dysocjacji, wówczas przy spalaniu całkowitym i zupełnym wielkość $(H'_p - \sum_i V''_i \cdot H''_{pi})$ jest wartością opałową paliwa w warunkach umownych.

Dla uproszczenia wprowadzono stosunek straty ciepła, który wyraża się zależnością:

$$\mu = \frac{Q_{\bar{\mu}}}{I'_p + H'_p + V'_o \cdot I'_o + V'_a \cdot I'_a - \sum_i V''_i \cdot H''_{pi}} \quad (2)$$

Mianownik przedstawia ilość energii doprowadzonej do komory spalania w odniesieniu do 1 um^3 paliwa.

Pomiędzy V'_o i V'_a istnieje ścisła zależność wynikająca stąd, że przy określonym stosunku (nadmiar) tlenu ilość tlenu zawarta w powietrzu V'_a i w stanie czystym V'_o jest stała. Stosunek λ defini-

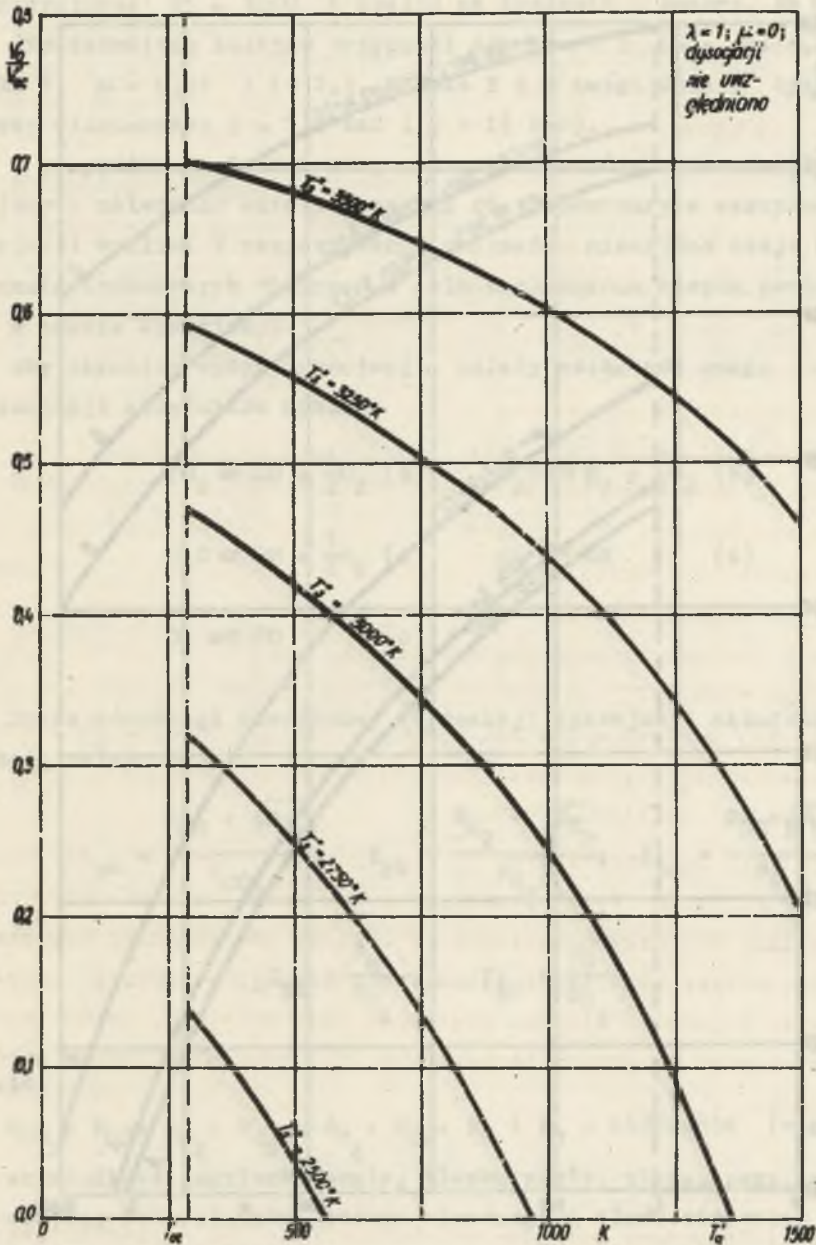
niuje się jako iloraz rzeczywiście dostarczonej ilości tlenu (zarówno w powietrzu, jak i w stanie czystym) przez minimalne zapotrzebowanie tlenu do zupełnego i całkowitego spalania paliwa. Zakłada się dla uproszczenia w dalszych rozważaniach, że tlen otrzymany z tlenowni nie zawiera innych substancji, a więc jest "czysty".

Na rys. 1 przedstawiono wyniki obliczeń dla wyżej opisanego przypadku, gdy $\mu = 0$ i $\lambda = 1$, a więc dla procesu idealnego. Spaliny potraktowano jako roztwór gazów półdoskonałych, których entalpię będącą wówczas jedynie funkcją temperatury wyznaczono na podstawie [5]. Po przyjęciu temperatury T'_g spalin na wypływie z komory (prędkość spalin zaniedbano) wykorzystano zależność (1), z której wynika związek pomiędzy wielkością I'_a oraz V'_o . Związek ten ilustrują krzywe na rys. 1, przy czym dla łatwiejszej ich interpretacji zastosowano jako współrzędne T'_a i stosunek V'_o/V'_{oc} . Temperaturę podgrzanego powietrza T'_a określa jednoznacznie jego entalpia I'_a . Ponieważ, jak już wspomniano, do komory doprowadzany jest czysty tlen oraz tlen w powietrzu, więc dogodną wielkością jest stosunek ilości czystego tlenu V'_o do całkowitej ilości tlenu V'_{oc} dostarczanego do komory zarówno w postaci czystej, jak i w podgrzanym powietrzu. Wielkość V'_{oc} przy określonym składzie paliwa zależy jedynie od stosunku (nadmiaru) λ tlenu.

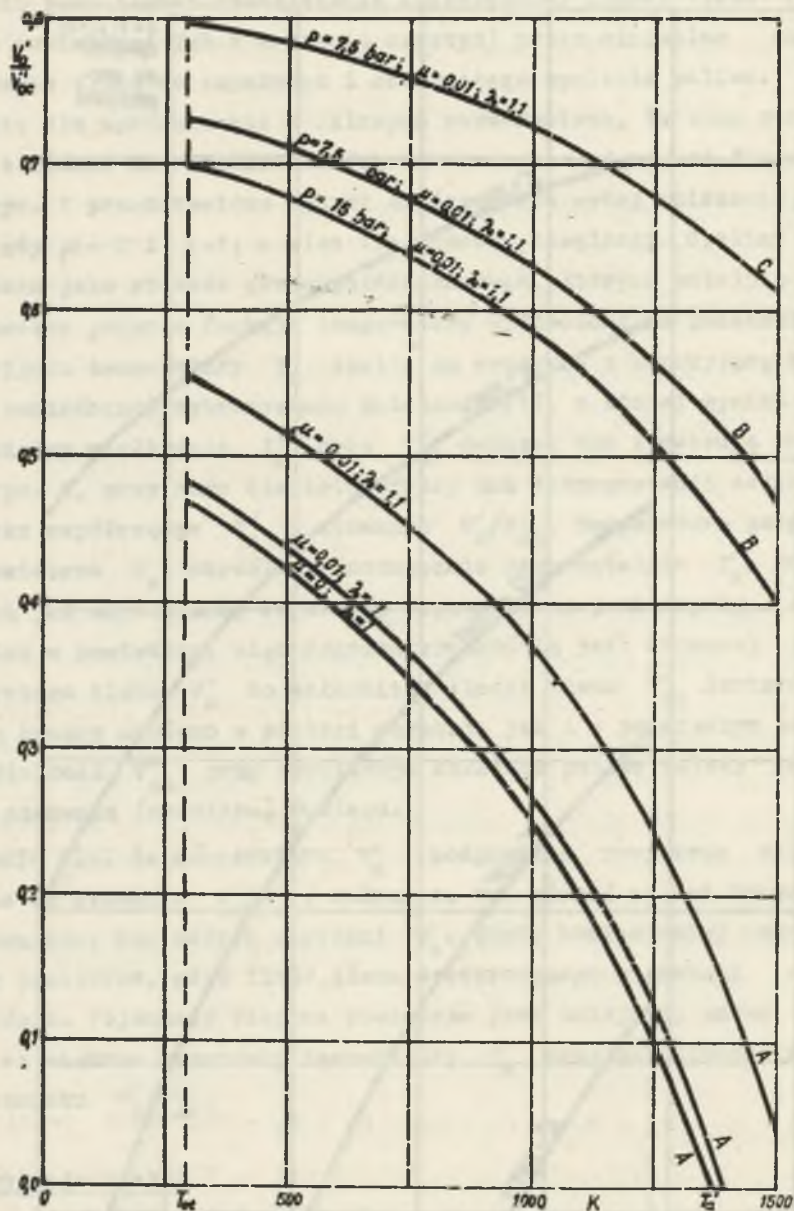
Okazuje się, że temperatura T'_a podgrzania powietrza zależy znacznie od stosunku V'_o/V'_{oc} , zwłaszcza w górnej części krzywych $T'_g = \text{idem}$ tzn. dla małych wartości T'_g . Wtedy bowiem mniej doprowadza się powietrza, gdyż ilość tlenu dostarczanego w postaci czystej rośnie. Pojemność cieplna powietrza jest mniejsza, zatem wymagane są większe przyrosty temperatury T'_a przy określonych spadkach stosunku V'_o/V'_{oc} .

3. Dysocjacja spalin

Rysunek 1 dotyczący warunków nierealnych nie ma praktycznego znaczenia. Dlatego też stopniowo uwzględniano warunki rzeczywiste, badając wpływ poszczególnych czynników na przebieg krzywych $T'_g = \text{idem}$. Na rys. 2 pokazano zależność udziału $V'_o/V'_{oc} = f(T'_g)$ przy



Rys. 1. Udział doprowadzanego tlenu czystego V'_O_2/V' w funkcji temperatury T_a^x podgrzanego powietrza. Temperatura T_s^0 spalin - parametrem



Rys. 2. Udział doprowadzonego tlenu czystego v'_O_2/v'_{O_2} w funkcji temperatury T'_a podgrzanego powietrza

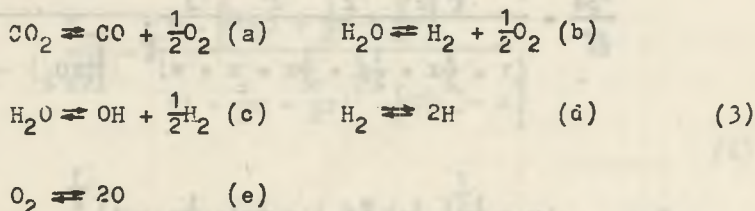
A - nie uwzględniono dysocjacji, B - uwzględniono dwa równania dysocjacji (a) i (b), C - uwzględniono pięć równań dysocjacji (3).

Temperatura spalin $T'_a = \text{idem} = 3000^\circ\text{K}$

temperaturze $T_g'' = 3000$ °K spalin na wypływie z komory. Na krzywych A przedstawione kolejno przypadki dla $\mu = 0$ i $\lambda = 1$; $\mu = 0,01$ i $\lambda = 1$, $\mu = 0,01$ i $\lambda = 1,1$. Krzywe B i C uwzględniają dysocjację (przy ciśnieniach $p = 7,5$ bar i $p = 15$ bar).

W przypadku spalania nafty można korzystać z wykresów [2], podających zależność entalpii spalin od temperatury w warunkach dysocjacji spalin. W rozpatrywanym przypadku niezbędne staje się dokonanie dodatkowych obliczeń w celu znalezienia ciepła pochłoniętego w czasie dysocjacji.

Aby określić wpływ dysocjacji, należy wziąć pod uwagę reakcje dysocjacji składników spalin:



Stałe równowagi chemicznej [4] reakcji dysocjacji składników wyrażają zależności:

$$\begin{aligned} K_{pa} &= \frac{p_{\text{CO}} \cdot \sqrt{p_{\text{O}_2}}}{p_{\text{CO}_2}}; & K_{pb} &= \frac{p_{\text{H}_2} \cdot \sqrt{p_{\text{O}_2}}}{p_{\text{H}_2\text{O}}}; & K_{pc} &= \frac{p_{\text{OH}} \cdot \sqrt{p_{\text{H}_2}}}{p_{\text{H}_2\text{O}}} \\ K_{pd} &= \frac{p_{\text{H}}^2}{p_{\text{H}_2}}; & K_{pe} &= \frac{p_{\text{O}}^2}{p_{\text{O}_2}} \end{aligned} \quad (4)$$

gdzie:

p_{CO_2} , p_{CO} , p_{O_2} , $p_{\text{H}_2\text{O}}$, p_{H_2} , p_{OH} , p_{H} i p_{O} - ciśnienia (względne) składnikowe dwutlenku węgla, tlenku węgla, tlenu, pary wodnej, wodoru, wodorotlenku, wodoru atomowego i tlenu atomowego w zdysocjowanych spalinach.

Wartości stałych równowagi w zależności od temperatury podane są w [2]. Przy bardziej szczegółowych obliczeniach należy wziąć pod

uwagę inne reakcje dysocjacji. Nie wydaje się jednak [1], aby inne reakcje, poza reakcją tworzenia się tlenku azotu, miały godny uwagi wpływ na procesy w komorze ze względu na małe wartości stałych równowagi chemicznej.

Biorąc pod uwagę 1 μm^3 spalin przed dysocjacją oraz zakładając, że x oznacza część dwutlenku węgla, która przereagowała zgodnie z reakcją (a), a kolejno y , z , u i w analogicznie części materii H_2O , H_2 i O_2 (w $\mu\text{m}^3/\mu\text{m}^3$ spalin), które przereagowały zgodnie z reakcjami (b) i (e) otrzyma się układ równań:

$$\frac{K_{pa}}{\sqrt{p}} = \frac{x \cdot \left[(\text{O}_2) + \frac{1}{2}x + \frac{1}{2}y - w \right]^{\frac{1}{2}}}{\left(1 + \frac{1}{2}x + \frac{1}{2}y + \frac{1}{2}z + u + w \right)^{\frac{1}{2}} \left[(\text{CO}_2) - x \right]}$$

$$\frac{K_{pb}}{\sqrt{p}} = \frac{\left(y + \frac{1}{2}z - u \right) \cdot \left[(\text{O}_2) + \frac{1}{2}x + \frac{1}{2}y - w \right]^{\frac{1}{2}}}{\left(1 + \frac{1}{2}x + \frac{1}{2}y + \frac{1}{2}z + u + w \right)^{\frac{1}{2}} \cdot \left[(\text{H}_2\text{O}) - y - z \right]} \quad (5)$$

$$\frac{K_{pc}}{\sqrt{p}} = \frac{z \cdot \left(y + \frac{1}{2}z - u \right)^{\frac{1}{2}}}{\left(1 + \frac{1}{2}x + \frac{1}{2}y + \frac{1}{2}z + u + w \right)^{\frac{1}{2}} \cdot \left[(\text{H}_2\text{O}) - y - z \right]}$$

$$\frac{K_{pd}}{p} = \frac{(2u)^2}{\left(1 + \frac{1}{2}x + \frac{1}{2}y + \frac{1}{2}z + u + w \right) \cdot \left(y + \frac{1}{2}z - u \right)}$$

$$\frac{K_{pe}}{p} = \frac{(2w)^2}{\left(1 + \frac{1}{2}x + \frac{1}{2}y + \frac{1}{2}z + u + w \right) \cdot \left[(\text{O}_2) + \frac{1}{2}x + \frac{1}{2}y - w \right]}$$

W równaniach (5) oznaczają: p - ciśnienie spalin, (CO_2) , (H_2O) , (O_2) - udziały objętościowe dwutlenku węgla, pary wodnej i tlenu w spalinach przed dysocjacją. Układ równań (5) otrzymuje się bardzo prosto z układu (4) podstawiając za ciśnienia składnikowe iloczyny ciśnienia spalin i udziałów składników w zwiększonej na skutek dysocjacji ilości materii spalin (otrzymanej z 1 um^3 spalin przed dysocjacją).

Układ równań dysocjacji (5) jest dość skomplikowany, dlatego też w rozważaniach mniej dokładnych pominięto reakcje (c), (d) i (e), a tym samym układ równań (5) redukuje się do dwu równań:

$$\frac{K_{pa}}{\sqrt{p}} = \frac{x \cdot \left[(O_2) + \frac{1}{2}x + \frac{1}{2}y \right]^{\frac{1}{2}}}{\left(1 + \frac{1}{2}x + \frac{1}{2}y \right)^{\frac{1}{2}} \cdot [(CO_2) - x]} \quad (6)$$

$$\frac{K_{pb}}{\sqrt{p}} = \frac{y \cdot \left[(O_2) + \frac{1}{2}x + \frac{1}{2}y \right]^{\frac{1}{2}}}{\left(1 + \frac{1}{2}x + \frac{1}{2}y \right)^{\frac{1}{2}} \cdot [(H_2O) - y]}$$

z dwiema niewiadomymi. Po rozwiązaniu tego układu metodą kolejnych przybliżeń łatwo już można obliczyć stopnie dysocjacji:

$$\alpha_{CO_2} = \frac{x}{(CO_2)}; \quad \alpha_{H_2O} = \frac{y}{(H_2O)} \quad (7)$$

Energia chemiczna wydzielona w komorze spalania przypadająca na 1 um^3 paliwa:

$$H_p = \sum_1 V_1' H_{pi}' = W_d - \sum_1 (\alpha_i V_i' Q_{chpi}) \quad (8)$$

gdzie: W_d jest wartością opałową, zaś Q_{chpi} ciepłem dysocjacji i -tego składnika [3] wyrażonym w kJ/um^3 .

W obliczeniach bardziej dokładnych należy uwzględnić jeszcze dodatkowe stopnie dysocjacji:

$$\alpha_{2\text{H}_2\text{O}} = \frac{z}{(\text{H}_2\text{O})}, \quad \alpha_{\text{H}_2} = \frac{u}{y + \frac{1}{2}z}, \quad \alpha_{\text{O}_2} = \frac{w}{(\text{O}_2) + \frac{1}{2}x + \frac{1}{2}y} \quad (7a)$$

Po uwzględnieniu równań (2) i (8) można z zależności (1) wyznaczyć entalpię podgrzanego powietrza I'_a w funkcji V'_0 :

$$I'_a = \frac{1}{V'_a} \left[\frac{1}{1-\mu} \sum_i V'_i \cdot I'_i - I'_p - V'_0 I'_0 - w_d + \sum_i (\alpha_i V'_i Q_{\text{chpi}}) \right] \quad (9)$$

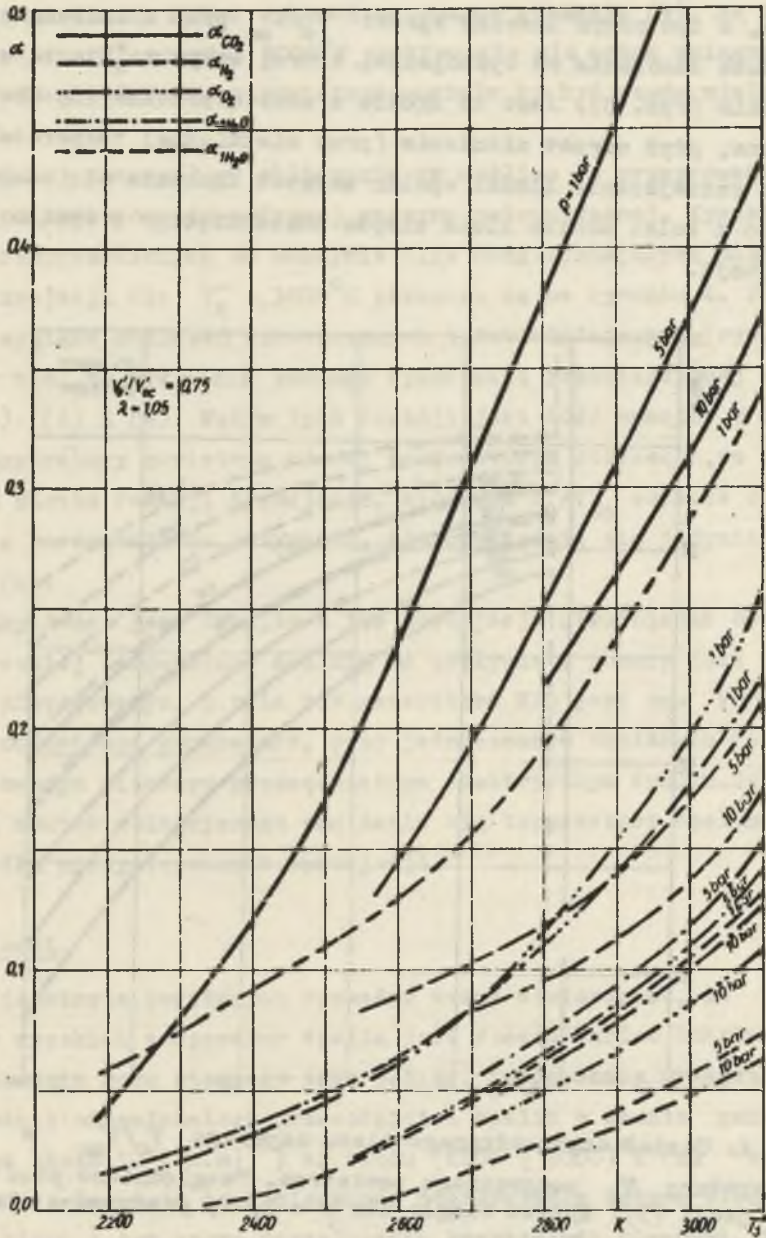
gdzie wielkości α_i są wyznaczane za pomocą równań (7) lub (7a). Suma iloczynów $\sum_i V'_i \cdot I'_i$ przedstawia entalpię fizyczną spalin po dysocjacji, liczoną od 0°C , gdyż w_d i Q_{chpi} bierze się dla tej właśnie temperatury.

Zakładając stosunki μ i λ , temperaturę T''_g spalin oraz ilość V'_0 tlenu doprowadzanego w postaci czystej można wyznaczyć wszystkie wielkości występujące po prawej stronie równania (9). Na podstawie bowiem równania stechiometrycznego spalania metanu wyznaczyć można (dla założonego V'_0) wielkości V'_a i V'_1 , zaś wielkości kaloryczne (I , w_d , Q_{chp}) da się wyznaczyć np. za pomocą [3] lub [5]. Zatem można wyznaczyć entalpię podgrzanego powietrza I'_a , a tym samym jego temperaturę T'_a , w zależności od wielkości V'_0 (a więc stosunku V'_0/V'_{oc}).

4. Wyniki obliczeń dotyczące dysocjacji spalin gazu ziemnego BOW

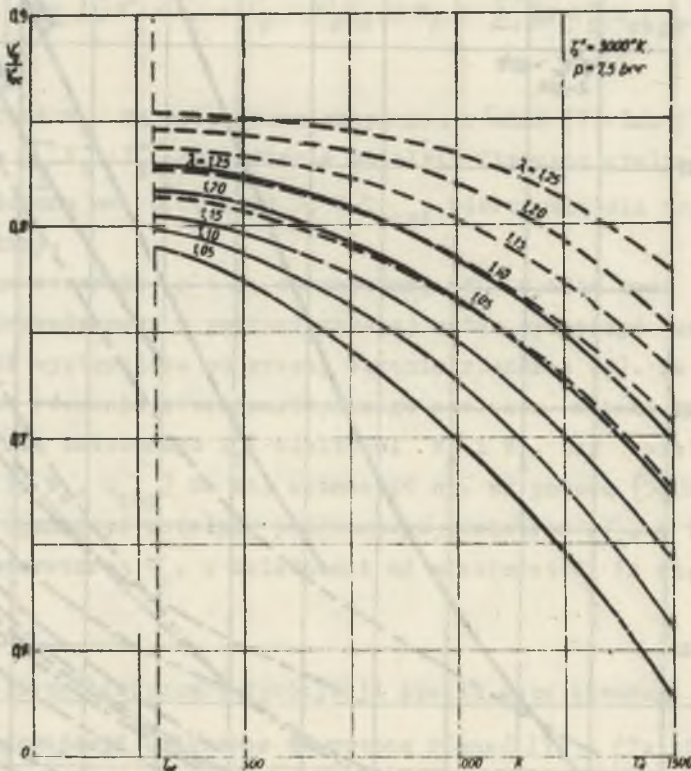
Stopnie dysocjacji obliczone za pomocą równań (7) i (7a) dla paliwa określonego w rozdziale 1 przedstawiono na rys. 3. Wyniki obliczeń wykonanych na podstawie równania (9) pokazane są na rys. 2 i 4.

Jak widać z rys. 2, przy $T''_g = \text{idem} = 3000^\circ\text{K}$ zmiana stosunku μ (równanie (2)) ma niewielki wpływ na przebieg zależności $V'_0/V'_{\text{oc}} = f(T'_a)$. Natomiast o wiele większy wpływ ma stosunek (nadmiar) λ



Rys. 3. Stopnie dysocjacji α w funkcji temperatury T_3 i ciśnienia p

tlenu dlatego, że wzrost λ powoduje dość istotne zwiększenie masy spalin, a tym samym znaczny wzrost V'_c/V'_{oc} przy niezmienniej T'_a . Również duże znaczenie ma dysocjacja, której wpływ maleje ze wzrostem ciśnienia (rys. 3). Jest to zgodne z zasadą przekory Le Chatelliera - Brauna, gdyż wzrost ciśnienia (przy niezmienniej temperaturze) powoduje zmniejszenie ilości spalin wskutek łączenia się części drobin. To z kolei obniża ilość ciepła pochłoniętego w wyniku procesu dysocjacji.



Rys. 4. Udział doprowadzanego tlenu czystego V'_c/V'_{oc} w funkcji temperatury T'_a podgrzanego powietrza. Uwzględniono pięć równań dysocjacji (3)^a. Krzywe ciągłe dla $\mu = 0,01$, przerywane dla $\mu = 0,05$.

Podobne obliczenia przeprowadzono dla innych wartości temperatur T'_g spalin. Z obliczeń takich wynika, że wpływ dysocjacji (ry-

sunek 3) stosunkowo niewielki przy $T_g'' = 2500^\circ\text{K}$ rośnie bardzo szybko z temperaturą. Można wykazać za pomocą równania (9), że temperatury spalin T_g'' powyżej 3000°K praktycznie nią można osiągnąć, gdyż temperaturę podgrzanego powietrza musiała by być rzędu wielu tysięcy $^\circ\text{K}$.

Bardziej szczegółowe obliczenia są możliwe do przeprowadzenia jedynie po zastosowaniu cyfrowej maszyny matematycznej. Wyniki obliczeń przeprowadzonych na maszynie GIER uwzględniających pięć reakcji dysocjacji dla $T_g'' = 3000^\circ\text{K}$ pokazane są na rysunku 4. Po porównaniu wyników obliczeń uproszczonych i dokładniejszych (rys.2) okazuje się, że nie można pominąć dysocjacji przebiegającej wg równań (c), (d) i (e). Wpływ tych reakcji jest dość znaczny. I tak np. dla temperatury powietrza równej temperaturze otoczenia, po uwzględnieniu pięciu reakcji dysocjacji, stosunek V_o'/V_{oc}' wzrasta o około 0,065 w porównaniu do przypadku, gdy uwzględnia się jedynie reakcje (a) i (b).

Godny uwagi jest fakt, że o ile dysocjacja utrudniając osiągnięcie wysokiej temperatury spalin na wypływie z komory jest zjawiskiem niepożądanym, o tyle dla generatora MPD jest ona korzystna, gdyż podnosi moc generatora, przy jednoczesnym obniżeniu rozmiarów spowodowanym większym przewodnictwem elektrycznym spalin. Dzieje się tak na skutek wolniejszego obniżania się temperatury spalin niż w przypadku niewystępowania dysocjacji.

5. Wnioski

Na podstawie powyższych rozważań można stwierdzić, że osiągnięcie wysokich temperatur spalin jest rzeczą bardzo kosztowną przy zastosowaniu gazu ziemnego jako paliwa. Temperatury wymagane dla zachowania odpowiedniego przewodnictwa spalin w kanale generatora (a więc około 10 (om.m)^{-1}) są rzędu $(2800 \pm 3000)^\circ\text{K}$ (na wypływie z komory). Powoduje to konieczność dostarczania dużych ilości czystego tlenu i tym samym instalowania kosztownych tlenowni. Z bilansu energijnego komory spalania wynika, że w komorze o mocy cieplnej 100 MW zapewnienie temperatury spalin rzędu 3000°K wymaga (przy

podgrzaniu powietrza nawet do ponad 1500 °K) dostarczania powyżej 10 000 um³ O₂/h. Tlenownia tej wielkości pochłonie z nadwyżką cały zysk mocy brutto wynikły z zastosowania generatora MPD w elektrowni konwencjonalnej. Obniżenie temperatury spalin do 2800°K w niewielkim stopniu poprawia sytuację.

Należy jeszcze zaznaczyć, że dyskusja odnosiła się do przypadku gdy $\mu = 0,01$, co odpowiada z dużą dokładnością stracie ciepła do otoczenia w wysokości 1% mocy cieplnej komory. Tak małe straty można osiągnąć jedynie wówczas, gdy nie stosuje się chłodzenia ścianek. Przy ściankach chłodzonych następuje zwiększenie strat, a tym samym wzrost stosunku μ , co dodatkowo pogarsza sytuację. Nie uwzględniono również strat na podgrzanie i odparowanie posiewu.

Widać stąd, że w przypadku użycia gazu ziemnego nawet zastosowanie bardzo wysokiego podgrzania powietrza (powyżej 1500 °K) nie zapewnia dostatecznie wysokiej temperatury spalin. Aby osiągnąć temperaturę powyżej $T_g'' = 2500^\circ\text{K}$ konieczne staje się wzbogacanie powietrza w tlen, którego masa przy $T_g'' = (2800 \div 3000)^\circ\text{K}$ (rys.4) zależy będzie już tylko w stosunkowo niewielkim stopniu od wysokości podgrzania powietrza.

OZNACZENIA

H_p	- entalpia tworzenia w kJ/um ³
I	- entalpia właściwa w kJ/um ³
K_p	- stała równowagi chemicznej
p	- ciśnienie w bar
Q	- ciepło w kJ
T	- temperatura bezwzględna w °K
V	- ilość materii w um ³
W_d	- wartość opałowa w kJ/um ³
x, y, z, u, w	- niewiadome w równaniach (5), (6), (7) i (7a)
α	- stopień dysocjacji
λ	- stosunek (nadmiaru) tlenu
μ	- stosunek straty ciepła
γ	- dotyczy substratów reakcji chemicznej

-)ⁿ - dotyczy produktów reakcji chemicznej
 -)_a - dotyczy powietrza,
 -)_c - dotyczy wielkości całkowitych
 -)_{chp} - "-"- entalpii reakcji chemicznej
 -)_i - "-"- i-tego składnika spalin
 -)_o - "-"- tlenu
 -)_{ot} - "-"- otoczenia
 -)_p - "-"- paliwa
 -)_s - "-"- spalin
 -)_u - "-"- warunków umownych
- (A) - udział objętościowy składnika A w niezdysojowanych spalinach.

LITERATURA

- [1] BIAŁOSTOCKI S., ZIELIŃSKI A. - "Teoretyczna temperatura i skład produktów spalania kilku pospolitych paliw z powietrzem podgrzanym do wyższych temperatur", Prace Inst. Masz. Przepł., Zeszyt 28, Gdańsk 1966.r.
- [2] BONDARIUK M.M., ULIASZENKO S.M. - "Priamotocznyje wozduschno-reaktiwnyje dwigateli", Gosudarstwiennoje Izdatielstwo Oboronoj Promyszlennosti. Moskwa 1958.
- [3] "International Critical Tables", McGraw - Hill Book Company, New York 1926 - 1933.
- [4] JASICKI Z., ZAPOROWSKI B. - "Komora spalania doświadczelnego generatora MHD", Energetyka, 1964, Nr 11.
- [5] OCHEŁDUSZKO S. - "Termodynamika stosowana", WNT, Warszawa 1967.

АНАЛИЗ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОЙ КАМЕРЫ СГОРАНИЯ МГД ГЕНЕРАТОРА НА ГАЗОВОЕ ТОПЛИВО

Р е з ю м е

В статье представлены возможности получения высокой температуры продуктов сгорания в камере МГД генератора 2500-3000°K при сгорании газового топлива в подогретом воздухе обогащенном кислородом. Представлена зависимость между количеством кислорода, который надо подвести в чистом состоянии и температурой нагретого воздуха при принятой температуре продуктов сгорания. Более детально анализируется влияние химической диссоциации.

THE COMBUSTION CHAMBER OF A MPD - GENERATOR AS AN OBJECT OF THERMODYNAMIC ANALYSIS

S u m m a r y

There has been considered possibility of obtaining the combustion gas temperature as high as 2500 - 3000 °K in the combustion chamber of a MPD generator. Gas fuel burning in the preheated air enriched with pure oxygen was assumed.

Assuming the combustion products temperature there has been shown a relationship between the amount of pure oxygen to be supplied and the temperature of the preheated air. A special attention has been paid to the influence of chemical dissociation.