

P O L S K A A K A D E M I A N A U K
INSTYTUT MASZYN PRZEPLYWOWYCH

PRACE
INSTYTUTU MASZYN
PRZEPLYWOWYCH

TRANSACTIONS
OF THE INSTITUTE OF FLUID-FLOW MACHINERY

73

WARSZAWA—POZNAŃ 1976

P A Ń S T W O W E W Y D A W N I C T W O N A U K O W E

PRACE INSTYTUTU MASZYN PRZEPLYWOWYCH

poświęcone są publikacjom naukowym z zakresu teorii i badań doświadczalnych w dziedzinie mechaniki i termodynamiki przepływów, ze szczególnym uwzględnieniem problematyki maszyn przepływowych

*

THE TRANSACTIONS OF THE INSTITUTE OF FLUID-FLOW
MACHINERY

exist for the publication of theoretical and experimental investigations of all aspects of the mechanics and thermodynamics of fluid-flow with special reference to fluid-flow machinery

KOMITET REDAKCYJNY - EXECUTIVE EDITORS
KAZIMIERZ STELLER - REDAKTOR - EDITOR
JERZY KOŁODKO · JÓZEF ŚMIGIELSKI
ANDRZEJ ŻABICKI

REDAKCJA - EDITORIAL OFFICE
Instytut Maszyn Przepływowych PAN,
80-952 Gdańsk, skr. pocztowa 621, ul. Gen. Józefa Fiszerza 14, tel. 41-12-71

Copyright
by Państwowe Wydawnictwo Naukowe
Warszawa 1976
Printed in Poland

PAŃSTWOWE WYDAWNICTWO NAUKOWE - ODDZIAŁ W POZNANIU

Nakład: 350+90 egz. Ark. wyd. 13. Ark. druk. 10. Papier druk. sat. kl. V, 70g, 70×100.
Oddano do składania 9 I 1976. Podpisano do druku 12 XI 1976. Druk ukończono w listopadzie 1976 r. Zam. nr 114/159. H-5/709. Cena zł 40,-

DRUKARNIA UNIwersytetu IM. A. MICKIEWICZA W POZNANIU

GERARD W. MAŁACZYŃSKI

Gdańsk

Uproszczona analiza termodynamiczna dwuobiegowego generatora elektrogazodynamicznego*

W pracy dyskutuje się problemy termodynamiczne związane z przemianą energii cieplnej w elektryczną na zasadzie elektrogazodynamicznej (EGD). Wskazuje się na zalety dwuobiegowych generatorów EGD i podaje uproszczony obraz cyklu termodynamicznego na wykresie Molliera dla obiegu wtórnego takiego generatora.

W procesie zmiany entalpii czynnika roboczego na energię elektryczną, na zasadzie elektrogazodynamicznej, można w dużym uproszczeniu wyróżnić dwa odrębne etapy. W pierwszym z nich, kosztem energii kinetycznej gazu powstają naładowane jednoimiennie nośniki ładunku elektrycznego, a w drugim, na drodze zderzeń sprężystych, nośniki te transportowane są w przepływie gazu od źródła do elektrody zbiorczej (kolektora). Ostatecznie uzyskuje się stały przepływ prądu w obwodzie zewnętrznym układu generacyjnego, zdeterminowany ilością przenoszonego ładunku, przy różnicy potencjałów wynikającej z przestrzennego rozkładu cząstek naładowanych, utrzymującego się stacjonarnie w przepływie i pojemności wewnętrznej generatora.

Elektrycznie naładowane cząstki przepływające przez obszar konwersji energii, ograniczony płaszczyznami źródła i kolektora, mogą być wytwarzane na wiele różnych sposobów. Najczęstsze to emisja połowa i termoemisja. We właściwie zaprojektowanym źródle ładunek elektryczny powstaje kosztem energii kinetycznej lub cieplnej czynnika roboczego.

Wyładowanie koronowe, będące przykładem uzyskania ładunku elektrycznego na drodze emisji połowej, wytwarzane jest między uziemioną elektrodą ostrzową a elektrodą pomocniczą utrzymywaną pod wysokim napięciem. W ten sposób jednoimiennie jony zostają wprowadzone w przepływ czynnika roboczego. Wykazują one tendencję do migracji w kierunku elektrody pomocniczej, jednakże na skutek prostopadłego do kierunku ich ruchu przepływu czynnika roboczego są one porywane i unoszone poza obszar źródła. Ponieważ ładunek elektryczny nie dociera do elektrody pomocniczej, jej prąd jest równy zero, z czego wynika, że do wytwarzania ładunku przestrzennego w kanale przemiany nie jest zużywana energia elektryczna. Przestrzenny rozkład niezrównoważonego ładunku elektrycznego jest tu tworzony dzięki oddziaływaniu jonów z przepływającym czynnikiem roboczym. Spadek ciśnienia przepływającego gazu przez obszar źródła równoważny jest

* Praca wykonana w ramach problemu resortowego PAN-19, grupa tematyczna 4.

stratom energii kinetycznej, której kosztem powstaje strumień ładunku opuszczający obszar źródła. Można udowodnić, że ilość energii ulegająca tu przemianie jest pomijalnie mała w stosunku do mocy elektrycznej generowanej przez układ [1].

Na podstawie powyższych stwierdzeń można by wyciągnąć fałszywy wniosek i ograniczyć omawianie efektów termodynamicznych zachodzących w generatorze EGD, którym poświęcona jest niniejsza praca, do analizy zjawisk zachodzących w obszarze przemiany. Dlatego też trzeba podkreślić, że stuprocentowa (a w praktyce nieco niższa) wydajność źródła jaką omawiano powyżej jest osiągalna tylko w przypadku dużej zdolności przechwytywania jonów przez czynnik roboczy i bliskiej zeru ruchliwości powstałych w ten sposób naładowanych cząstek w polu elektrycznym. Spełnienie tych warunków jest z kolei możliwe wtedy, gdy w skład czynnika roboczego wchodzi dostatecznie duża ilość mało ruchliwych cząstek o dużym przekroju na zderzenie niesprężyste z jonem [2]. Ostatecznie więc wymaga się aby czynnik roboczy był mgłą lub dymem. Wytworzenie i przepływ takiego medium pociąga za sobą konsekwencje natury energetycznej i nie może być pominięte przy analizie pełnego procesu przemiany EGD.

W dalszej części pracy nie dyskutuje się czynników roboczych w postaci dymów. Pomimo istnienia szeregu atrakcyjnych własności takich mediów, brak dotychczas opracowań rozwiązujących problem odprowadzenia cząstek stałych osadzających się w obszarze kolektora w trakcie wymiany ładunku elektrycznego z powierzchnią elektrody.

Opierając się w dalszych rozważaniach na czynnikach roboczych w formie mgły, należy stwierdzić na wstępie, że istniejąca różnorodność sposobów generowania mgły [3] nie zawsze zezwala na dużą swobodę wyboru określonej metody, ponieważ oprócz wymagań związanych z efektywnością źródła ładunku, muszą być wzięte pod uwagę inne niezbędne własności medium roboczego, a także oszczędność energetyczna w generowaniu samego czynnika roboczego.

W obszarze konwersji energii generatora EGD powinny być spełnione trzy oczywiste warunki:

1. Osłowa składowa prędkości ruchu cząstek naładowanych w polu elektrycznym, w każdym punkcie obszaru przemiany, musi być mniejsza od prędkości gazu naturalnego.
2. Natężenie pola elektrycznego musi być mniejsze od wartości krytycznej, przy której następuje przebicie elektryczne w ośrodku.
3. Trajektorie cząstek naładowanych nie mogą mieć styczności ze ścianką kanału wcześniej, niż w obszarze kolektora.

Warunki 1 i 3 sprowadzają się do żądania małej ruchliwości cząstek naładowanych i będą spełnione przy dowolnie dużym, fizycznie realizowanym natężeniu pola, o ile cząstki niosące ładunek będą kroplami mgły [4, 5]. Warunek 2, w przypadku zastosowania mało ruchliwych nośników, stanowi podstawowe ograniczenie w możliwościach uzyskania dużej mocy i sprawności wewnętrznej generatora EGD.

Pominięcie poślizgu cząstek naładowanych na skutek ruchu pod wpływem pola elektrycznego pozwala przybliżyć analitycznie podstawowe parametry charakteryzujące generator EGD [6]:

– gęstość prądu

$$j = \varepsilon v \frac{E_{b,N}}{h} \frac{P}{P_N}, \quad (1)$$

– napięcie

$$V = E_{bN} \frac{h}{2} \frac{P}{P_N}, \quad (2)$$

– gęstość mocy

$$jV = L_e = \varepsilon E_{b,N}^2 \frac{v}{2} \left(\frac{P}{P_N} \right)^2. \quad (3)$$

Sprawność wewnętrzna

$$\eta_i = \frac{1}{1 + \zeta \frac{\rho_N v^2}{\varepsilon E_{b,N}^2} \frac{P_N}{P}}, \quad (4)$$

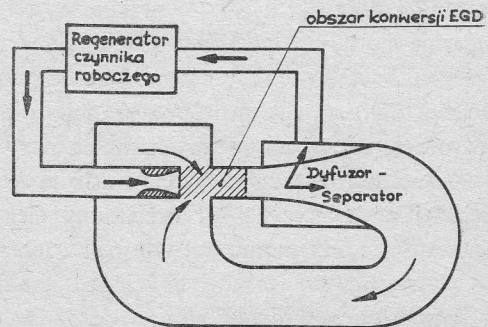
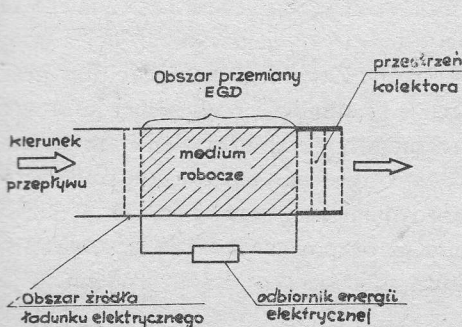
gdzie ε – przenikalność dielektryczna ośrodka, v – prędkość czynnika roboczego w obszarze przemiany (wartość średnia), E_b – krytyczna wartość natężenia pola elektrycznego (wartość minimalna), P – ciśnienie (wartość średnia), h – długość obszaru przemiany, ρ – gęstość ośrodka (wartość średnia), ζ – współczynnik strat przepływu, indeks N oznacza warunki normalne.

Wyżej ujawniony (patrz (4)) zasadniczy wpływ ciśnienia i strat przepływu na sprawność wewnętrzną kanału przemiany musi być brany pod uwagę przy projektowaniu obiegu generatora.

Stopień wykorzystania kinetycznej energii gazu w pojedynczym kanale przemiany jest niestety bardzo niski, co dyskwalifikuje możliwość uzyskania sprawnego cyklu w układzie jednosekcyjnym przedstawionym na rys. 1. Propozycja zastosowania szeregowo połączonych kanałów, celem pełniejszego wykorzystania energii kinetycznej (cieplnej) czynnika roboczego, wydaje się być mało realna ze względu na trudności uzyskania parametrów medium we wszystkich stopniach, na poziomie zapewniającym dużą sprawność wewnętrzną poszczególnych sekcji.

Sprzeczne wymagania dotyczące własności czynnika roboczego ze strony procesów przemiany energii cieplnej w kinetyczną i kinetycznej w elektryczną mogą być spełnione w dwuobiegowym układzie generatora elektrogazodynamicznego [4, 6, 7].

W generatorze dwuobiegowym istnieje możliwość bezkonfliktowego, jednoczesnego spełnienia wymagań dotyczących termodynamiki procesu i przemiany energii kinetycznej w elektryczną.



Rys. 1. Podstawowy model kanału przemiany elektrogazodynamicznej.

Rys. 2. Schemat dwuobiegowego generatora EGD.

Sprawność obiegu $\eta = \eta_{ei} \cdot \eta_{term} \cdot \eta_{rec}$ może być tym razem duża, ponieważ w wyniku zamiany energii cieplnej w kinetyczną, zachodzącej w obiegu pierwotnym (rys. 2), otrzymana została duża gęstość energii kinetycznej (a więc duże η_{term}). Na drodze eżekcji następuje przekazanie energii kinetycznej czynnikowi recyrkulującemu, przy czym uzyskana gęstość energii kinetycznej medium roboczego w obszarze przemiany EGD może być dowolnie niska z uwagi na możliwość regulacji stosunku eżekcji. Obszar kolektora odgrywa jednocześnie rolę urządzenia separującego. Ostatecznie sprawność termiczna η_{term} będzie więc iloczynem sprawności dyszy ekspansyjnej, sprawności wymiany energii między strumieniem roboczym a recyrkulującym (straty na uderzenie) oraz sprawności separatora, przy czym ta ostatnia może być duża, jeśli użyty czynnik napędowy jest parą o parametrach cieplnych, w obszarze kolektora, leżących znacznie poniżej granicy kondensacji.

Sprawność elektryczna kanału przemiany, tak jak i w przypadku generatora jednoobiegowego, może być wyrażona zależnością

$$\eta_{ei} = \frac{L_e}{L_e + \xi L_k + (1 - \eta_{dyf}) L_k}, \quad (5)$$

gdzie η_{dyf} – sprawność dyfuzora.

Tym razem jednak gęstość energii kinetycznej może być porównywalna z gęstością wytwarzanej energii elektrycznej. Pojawiająca się w generatorze dwuobiegowym sprawność obiegu recyrkulującego η_{rec} przy istnieniu dyfuzora, na wylocie którego gaz porusza się z bardzo małą prędkością, nie może mieć większego wpływu na globalną sprawność cyklu.

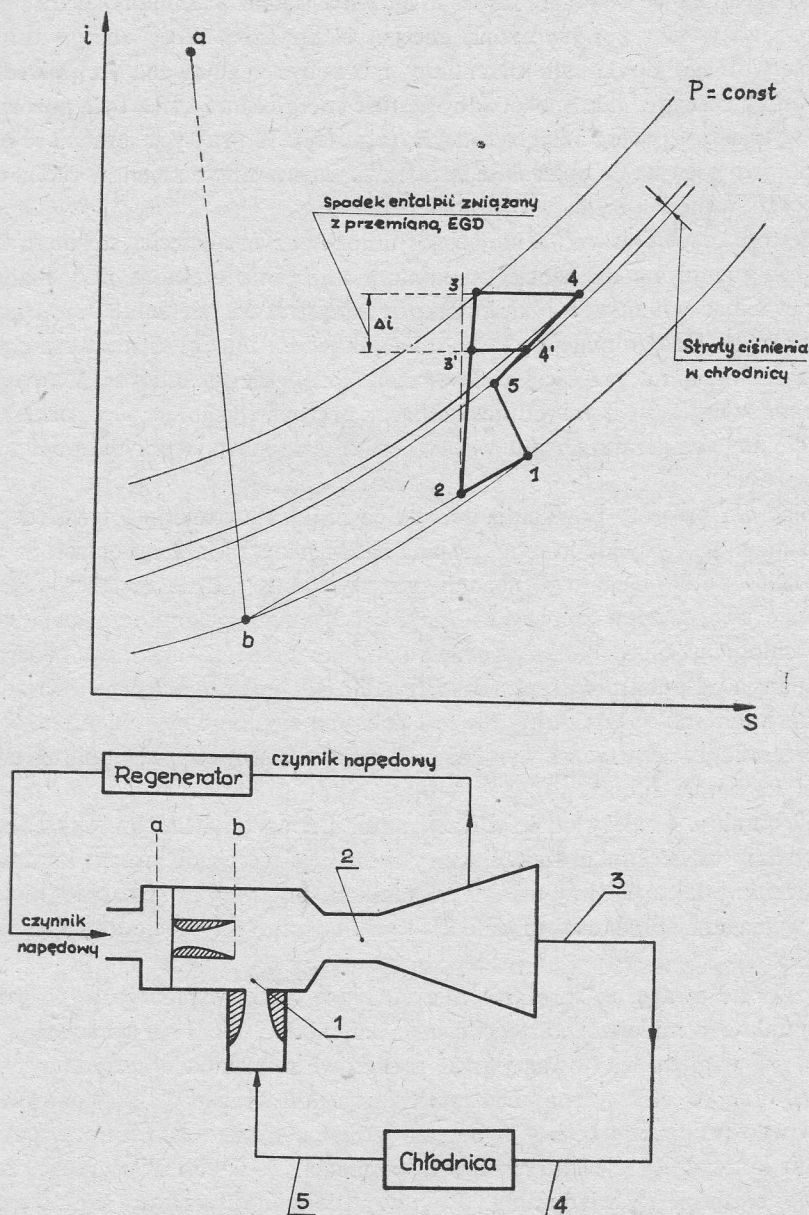
Użycie pary jako czynnika roboczego w generatorze dwuobiegowym, ze względu na wymaganą separowalność na wylocie części wspólnej dla obu obiegów, ujawnia dalsze zalety takiego systemu.

Jeśli ekspansja czynnika roboczego w dyszy eżektora zostanie poprowadzona dostatecznie głęboko poniżej linii Wilsona, to powstała mgła spełniać będzie rolę nośnika ładunku elektrycznego. Jednocześnie w obiegu recyrkulującym, pomimo istnienia separatora, pozostanie pewna ilość pary czynnika roboczego. Jej ciśnienie parcjalne w całym obiegu wtórnym będzie określone temperaturą gazu recyrkulującego. Pozostałość czynnika roboczego w postaci gazowej w obszarze elektrogazodynamicznej konwersji energii może odgrywać rolę domieszki elektroizolacyjnej, podnoszącej znacznie krytyczną wartość natężenia pola E_b , a więc w efekcie wyjściową moc elektryczną generatora. Dlatego też sugeruje się dobór czynnika roboczego w postaci pary cieczy elektroizolacyjnej z grupy halogenków. W rachubę wchodzi tu na przykład freony. Zasadniczą trudność przy praktycznej realizacji tak zaproponowanego obiegu może tu stanowić brak pełnej informacji dotyczącej własności cieplnych takich par w interesującym zakresie ciśnień i temperatur.

Kończąc rozważania ogólne warto podkreślić, że rozdzielenie procesu zamiany energii cieplnej w kinetyczną od przemiany elektrogazodynamicznej powoduje, że w kanale generatora EGD panuje na tyle niska temperatura, iż bezpodstawne stają się objawy co do wytrzymałości izolacyjnej ścianek kanału, która staje się poważnym problemem już w temperaturze kilkuset stopni.

Zagadnienie projektowania generatora dwuobiegowego w świetle powyższych uwag sprowadza się do analizy termodynamicznej dwóch niezależnych obiegów. Właściwie

jedynym wspólnym punktem będzie tu „harmonijny” dobór rodzaju czynnika dla obu obiegów. Jak już wspomniano, rolę czynnika napędowego musi spełniać para związku z grupy halogenków. Dużą sprawność takiego obiegu parowego zapewni głęboka ekspansja. W wyniku dużego spadku entalpii pary na korzyść energii kinetycznej, uzyskiwana prę-



Rys. 3. Przykład obiegu wtórnego generatora EGD i jego interpretacja na wykresie Molliera

kość czynnika napędowego na wylocie dyszy naddźwiękowej będzie względnie niska (przy dużej liczbie Macha) ze względu na dużą gęstość właściwą pary. Oznacza to, że zachowanie małych strat na uderzenie w strumienicy będzie możliwe przy silnie poddźwiękowych przepływach lekkiego czynnika recyrkulującego, a więc przy małych stratach na przepływ w obiegu wtórnym.

Tak więc przy zminimalizowanym przyroście entropii czynnika napędowego spadek entalpii tego czynnika we wspólnej części urządzenia (kanał przemiany) będzie się bilansował przede wszystkim z wytworzoną energią elektryczną. Ilość energii dostarczana z obiegu pierwotnego do kanału przemiany może być regulowana za pośrednictwem zmiany stosunku eżekcji w taki sposób, aby gęstość energii kinetycznej była porównywalna z gęstością wytwarzanej energii elektrycznej L_e (por. (5)). W praktyce sprawność η_{el} będzie na tyle bliska jedności, na ile pozwalają straty związane z utrzymaniem w ruchu czynnika recyrkulującego w pętli obiegu wtórnego.

Mała gęstość czynnika recyrkulującego umożliwia osiągnięcie stosunkowo dużej prędkości jego przepływu na wlocie do komory mieszania eżektora przy małej liczbie Macha, zapewniając w ten sposób zminimalizowanie strat na uderzenie i strat przepływu w obiegu wtórnym. Gazy o małej gęstości, takie jak wodór lub hel charakteryzują się dość niską wytrzymałością na przebicie elektryczne, dlatego też pozostałość elektroujemnego czynnika napędowego, w ilości odpowiadającej prężności jego pary w określonej dla kanału przemiany temperaturze, jest warunkiem decydującym o przydatności tak skonstruowanego obiegu.

Zakładając dla prostoty przykładu, że oba czynniki, recyrkulujący i roboczy, różnią się jedynie stanem termodynamicznym, zmiana parametrów pierwszego z nich na wykresie Molliera wzdłuż pętli obiegu wtórnego będzie wyglądała jak na rys. 3.

Zwraca się uwagę, że w prawidłowo zaprojektowanym generatorze dwuobiegowym stosowanie chłodnicy może okazać się niepotrzebne, ponieważ możliwa będzie bezpośrednio ekspansja od punktu 4 do punktu 1 (rys. 3). Nie jest to sprzeczne z zasadami termodynamiki, ponieważ obieg wtórny nie jest maszyną cieplną tylko obiektem, w którym zachodzą przemiany energetyczne wynikające z pracy maszyny cieplnej opartej na obiegu pierwotnym (czynnika roboczego).

Położenie punktu 4 zależy od lokalizacji punktu 3 na omawianym wykresie, a więc przede wszystkim od stosunku eżekcji, który może być w sposób prosty kontrolowany. Wybór położenia punktu 5, przy ustalonym punkcie 4, a więc projekt chłodnicy, będzie zależał od wymaganej prędkości czynnika recyrkulującego na wlocie do kanału mieszania strumienicy.

Należy zwrócić uwagę, że sprężanie mieszaniny w części wspólnej obiegu generatora EGD daje punkt 3 o mniejszej wartości ciśnienia i entalpii niż to ma miejsce w zwykłej strumienicy, ze względu na towarzyszącą procesowi mieszania i sprężania przemianę energii kinetycznej w elektryczną. Dlatego też prawidłowe zaprojektowanie elementów obiegu wtórnego generatora będzie wymagało jednoczesnych obliczeń dotyczących konwersji energii kinetycznej w elektryczną (na odcinkach 1-2-3). Wydaje się, że będzie tu konieczny materiał doświadczalny. Po uwzględnieniu przemiany elektrogazodynamicznej wykres Molliera obiegu wtórnego będzie wyznaczony przez punkty 1-2-3'-4'-5-1. Przy oznaczeniach przyjętych na rys. 3 parametr $L_e/\xi L_k$, decydujący o spraw-

ności elektrycznej cyklu (5), może być określony z zależności:

$$\frac{L_e}{L_e + \xi L_k} = \frac{(i_3 - i_3')z}{i_a - i_b} < 1, \quad (6)$$

gdzie $z = \dot{G}_{rec} / \dot{G}_{rob}$ (stosunek eżekcji).

Oczywiście, zawsze część entalpii czynnika roboczego zostaje stracona ze względu na różne od zera straty na ekspansję, uderzenie, straty w dyfuzorze, rurociągach i chłodnicy (nierówność względem jakości w (6)).

Duża ilość trudnych obliczeniowo problemów wynikłych przy okazji omawiania obiegu czynnika recyrkulującego skłania do przeprowadzenia badań eksperymentalnych, na bazie których będzie możliwe zrealizowanie projektu generatora dwuobiegowego w myśl podanych wyżej zaleceń. Celem maksymalnego uproszczenia takiego modelu proponuje się przeprowadzenie doświadczeń z obiektem tylko częściowo spełniającym wymagania dotyczące rzeczywistego obiegu energetycznego. Dokonane uproszczenia opisane niżej, w sposób nie wymagający bliższego omawiania determinują niedoskonałość zaproponowanego modelu doświadczalnego.

Przyjmuje się następujące założenia upraszczające:

1. Obiektem doświadczalnym będzie generator dwuobiegowy wykorzystujący hel lub powietrze z domieszką halogenu jako czynnik napędowy. Możliwe są teraz trzy zasadnicze wersje własności czynnika roboczego:

– Dodatek halogenku zostaje w całości odparowany przed wprowadzeniem do komory mieszania strumienicy, polepszając w ten sposób jedynie własności elektroizolacyjne medium roboczego (generator z jonowym typem nośnika ładunku).

– Wyżej wspomniany dodatek odparowuje częściowo. Wtedy jego pozostałość w postaci mgły służy jako środek transportu dla ładunku elektrycznego (generator aerosolowy).

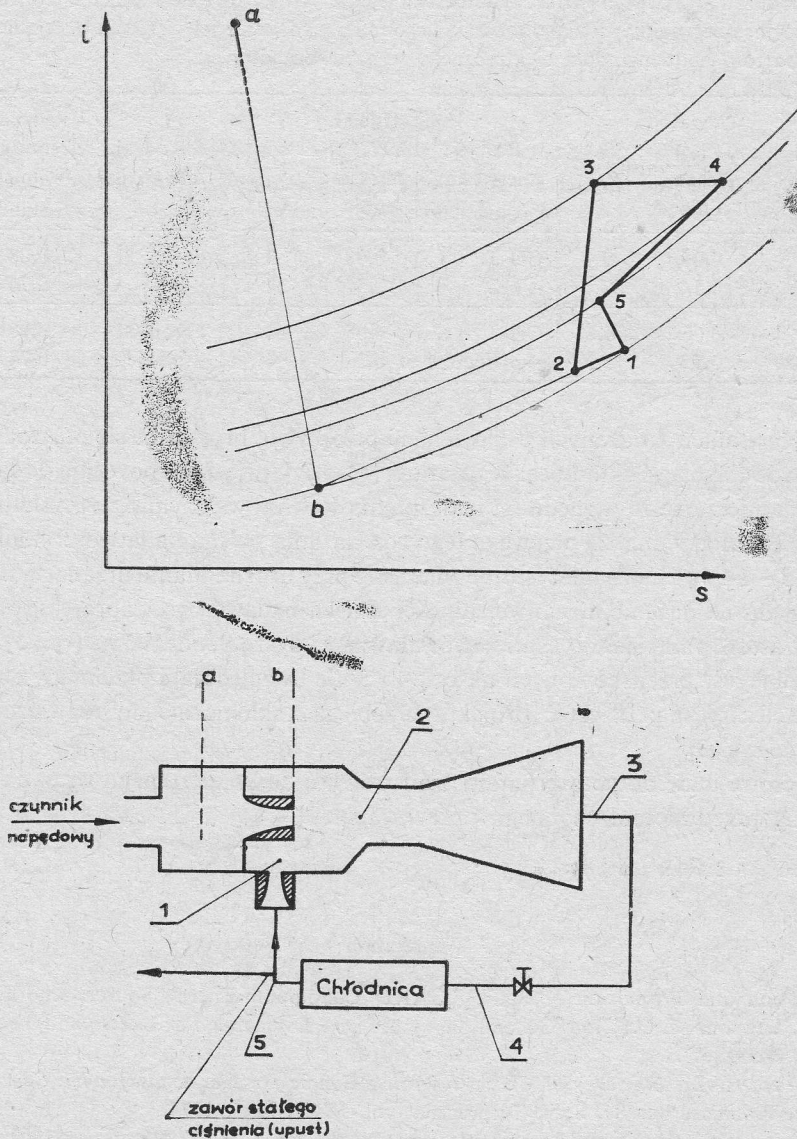
– Domieszka halogenku zawiera w sobie rozpuszczony trzeci składnik o znacznie wyższej temperaturze wrzenia, np. olej lub parafina. Wtedy po całkowitym odparowaniu czynnika niskowrzącego, nieodparowująca wtórna domieszka tworzy potrzebną mgłę (generator koloidalny).

2. Wybrane cieplne parametry statyczne czynnika roboczego umożliwią wykorzystanie niekłopotliwych źródeł zasilania. Oznacza to, że generator będzie dysponował czynnikiem roboczym o małej gęstości energii kinetycznej.

3. Przyjęcie uproszczenia 1 pozwala na prostą symulację cyklu zamkniętego ciśnieniowym zaworem nadmiarowym, umieszczonym na rurociągu zwrotnym obiegu wtórnego. Niewielka nadwyżka czynnika niskowrzącego może być akumulowana w chłodnicy rurociągu zwrotnego. Powyższe zastrzeżenie dotyczy także użytego ewentualnie trzeciego składnika, który może być gromadzony w kolektorze.

Tak sprymityzowany generator dwuobiegowy może być zaprojektowany już bez większych trudności. Przed naszkicowaniem toku postępowania warto się jednak upewnić, czy zaproponowany czynnik roboczy, w którym pary halogenków stanowią tylko niewielki udział, zapewni dostatecznie dużą krytyczną wartość natężenia pola E_b , które jest elementem zasadniczym w generacji mierzalnej mocy elektrycznej uzyskiwanej w kanale prze-

obiegu wtórnego generatora zaniebującą obecność takiej domieszki. Kontrola zawartości domieszki halogenku w medium roboczym w granicach sugerowanych przez punkt 1 postulowanych wyżej założeń jest sprawą elementarnie prostą i może być dokonywana bez obawy zmiany parametrów gazu w obiegu wtórnym.



Rys. 5. Schemat budowy oraz cykl termodynamiczny na wykresie Molliera, laboratoryjnego modelu obiegu wtórnego generatora z regulowanym dławieniem w rurociągu zwrotnym (odcinek 3-4) i względnie dużej prędkości strumienia zasysanego

Możliwe są w zasadzie dwie propozycje rozwiązań modelu laboratoryjnego dwuobiegowego generatora EGD, różniące się elementami obiegu zwrotnego. W wersji pierwszej powrót od punktu 4 do punktu 1 następuje za pośrednictwem dyszy Bendemanna (obieg na wykresie Molliera będzie podobny do przedstawionego na rys. 3). W wersji drugiej,

Tabela 1

Rezultaty pomiaru wpływu zawartości domieszki wybranych gazów elektroujemnych na własności elektroizolacyjne mieszaniny. Udział domieszki liczono na podstawie jej ciśnienia parcjalego. (E_{b0} – krytyczna wartość natężenia pola elektrycznego w gazie bez domieszki)

Rodzaj mieszaniny	Udział CCl_4 w mieszaninie	$\frac{E_b}{E_{b0}}$	Rodzaj mieszaniny	Udział CH_3J w mieszaninie	$\frac{E_b}{E_{b0}}$	Rodzaj mieszaniny	Udział freonu 11 w mieszaninie	$\frac{E_b}{E_{b0}}$
CCl_4	0,06	9	CH_3J +hel	0,08	9,8	Freon 11 +hel	0,08	4
	0,5	27		0,5	22		0,74	16
CCl_4 +powietrze	0,06	1,6	CH_3J +powietrze	0,08	2	Freon 11 +powietrze	0,08	1,4
	0,5	5		0,5	4		0,74	3

o większych stratach związanych z dławieniem przepływu, proponuje się powrót do punktu 1 przez zawór dławiący i chłodnicę. W ostatnim (rys. 4) rozwiązaniu powstają dodatkowo duże straty na uderzenie ze względu na małą prędkość wlotową czynnika recyrkulującego do komory mieszania, jednakże przewaga tego rozwiązania polega na łatwości kontrolowania odcinków 3–4–1 co może mieć istotne znaczenie przy uruchamianiu urządzenia. W praktyce, ze względu na dążenie do uniwersalności stoiska badawczego, zaprojektowano układ, w którym zastosowano jednocześnie zawór dławiący i dyszę Bendemanna (rys. 5). Graficzne ilustracje obiegów przedstawionych na rys. 4 i 5 nie uwzględniają przemiany energii kinetycznej w elektryczną; ta część projektu przebiega analogicznie do rozwiązania zaznaczonego na rys. 3.

Szczegółowe dane dotyczące parametrów obiektu doświadczalnego wraz z rezultatami badań będą przedmiotem osobnego opracowania.

Praca wpłynęła do Redakcji w marcu 1974 r.

Literatura

- [1] Combustion and Propulsion – Sixth AGARD Colloquium-Energy Sources and Energy Conversion. Lawson, M. O., „Ion Generation by Corona Discharge for Electrofluid Dynamic Conversion Processes”.
- [2] G. Małaczyński, *Efficiency of Charged Particle Source for Electrogasdynamic Generators*. Bull. de l'Ac. Polonaise des Sc. Seria Techniczna, vol. XXII, nr 6, 1974.
- [3] A. G. Amielin, *Powstawanie mgły przez kondensację pary*. WNT, Warszawa 1968.
- [4] G. Małaczyński, *Tendencje rozwoju badań eksperymentalnych w dziedzinie elektrogazodynamicznych konwertyorów energii*. Biuletyn IMP PAN nr 31/709/1972.
- [5] G. Małaczyński, *Analytical Solution in the Phase Plane for Electric Field Distribution in a Free Flow of Unipolar Gas*. Bull. des l'Ac. Polonaise des Sc. Seria Techniczna. vol. XX, nr 4, 1972.

- [5] Combustion and Propulsion — Sixth AGARD Colloquium-Energy Sources and Energy Conversion. Ohain Von, H. Wattendorf F., „Potentialities of Direct Electro-Fluid Dynamic Energy Conversion Processes for Power Generation”.
- [7] M. Lawson, H. Ohain Von, ASME Meeting, California, 1969. „Mechanical engineering problems in energetics — electrofluid dynamics”.
- [8] G. Małaczyński, *Badania teoretyczne i doświadczalne doboru czynnika roboczego dla generatora EGD*. Biuletyn IMP PAN nr 76/756/1974.

Упрощённый термодинамический анализ двухконтурного электрогазодинамического генератора

Резюме

В работе обсуждаются термодинамические проблемы, связанные с превращением тепловой энергии в электрическую на электрогазодинамической основе (ЭГД). Указывается на достоинства двухконтурных ЭГД-генераторов и представляется упрощённая картина термодинамического цикла на диаграмме Мольера для вторичного контура такого генератора.

Представлен эскизный проект лабораторной версии генератора, в котором вместо парообразной рабочей среды применены небольшие её примеси в газовом первичном контуре. Эта примесь позволяет сохранить надлежащие электрические параметры рабочей среды в области электрогазодинамической конверсии энергии.

Simplified Thermodynamic Analysis of a Recirculatory Electrogasdynamic Generator

Summary

Thermodynamic problems associated with the heat-to-electric energy conversion based on the electrogasdynamic (EGD) principle have been discussed. Merits of recirculatory EGD generators have been pointed out and for the recirculating EGD medium of such a generator a simplified picture of the thermodynamic cycle on a Mollier diagram has been presented.

The design of a laboratory version of the generator, in which steam as a driving medium is substituted in the primary cycle with a gas carrying a small amount of added steam, has been outlined. The additive permits maintaining proper electric parameters of the working medium in the electrogasdynamic energy conversion region.