

P O L S K A A K A D E M I A N A U K
I N S T Y T U T M A S Z Y N P R Z E P Ł Y W O W Y C H

P R A C E
I N S T Y T U T U M A S Z Y N
P R Z E P Ł Y W O W Y C H

T R A N S A C T I O N S
O F T H E I N S T I T U T E O F F L U I D - F L O W M A C H I N E R Y

81

W A R S Z A W A - P O Z N A Ń 1981
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 PRZEPŁYWOWYCH

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

RADA REDAKCYJNA – EDITORIAL BOARD

TADEUSZ GERLACH · HENRYK JARZYNA · JERZY KRZYŻANOWSKI
STEFAN PERYCZ · WOJCIECH PIETRASZKIEWICZ · ROMUALD PUZYREWSKI
KAZIMIERZ STELLER (PRZEWODNICZĄCY · CHAIRMAN) · ROBERT SZEWAŁSKI
JÓZEF ŚMIGIELSKI

KOMITET REDAKCYJNY – EXECUTIVE EDITORS

KAZIMIERZ STELLER – REDAKTOR – EDITOR
WOJCIECH PIETRASZKIEWICZ · ZENON ZAKRZEWSKI
ANDRZEJ ŻABICKI

REDAKCJA – EDITORIAL OFFICE

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

Copyright

by Państwowe Wydawnictwo Naukowe
Warszawa 1981

Printed in Poland

ISBN 83-01-03053-4
ISSN 0079-3205

PAŃSTWOWE WYDAWNICTWO NAUKOWE – ODDZIAŁ W POZNANIU

Nakład 340 + 90 egz.	Oddano do składania 25 VI 1980 r.
Ark. wyd. 8,75 Ark. druk. 7,125	Podpisano do druku 13 IV 1981 r.
Pap. druk. sat. kl. V, 70 g 70 × 100 cm.	Druk ukończono w kwietniu 1981 r.
Nr zam. 631/49. P-4/16.	Cena zł 35,–

DRUKARNIA UNIwersytetu IM. A. MICKIEWICZA W POZNANIU

JANUSZ PROKOPOWICZ, RYSZARD KOZUBOWSKI

Gdańsk

Doświadczalne badania palisad separatora zanieczyszczeń powietrza roboczego silnika turbospalinowego napędu głównego statku

W pracy omówiono badania doświadczalne dwu typów palisad wielostopniowego separatora zanieczyszczeń powietrza roboczego dla turbospalinowej siłowni statku. Wskazano na konieczność dalszych badań niezbędnych dla konstrukcji nowoczesnego separatora zanieczyszczeń.

Wykaz oznaczeń

b – wymiar wg rysunków 3 i 4,	η – sprawność,
c – prędkość przepływu,	ρ – gęstość.
d – średnica kropel,	
A – powierzchnia,	Indeksy
$\dot{m}$ – strumień masy,	dop – dopuszczalny,
K – koncentracja zanieczyszczeń,	p – powietrze,
p – ciśnienie statyczne,	sep – separator,
Δp – spadek ciśnienia,	$\bar{s}$ – średnia,
t – podziałka palisady na rysunkach 3 i 4,	wtr – wtryskiwacz,
T – temperatura	z – zwężka pomiarowa.

1. Wstęp

Instalując silnik turbospalinowy w siłowni statku należy liczyć się z poważnym problemem, którego poprawne rozwiązanie jest konieczne dla zapewnienia właściwej eksploatacji siłowni. Jest nim właściwe oczyszczenie powietrza roboczego, zasysanego z bezpośredniego otoczenia statku przez sprężarkę silnika [7, 8]. W powietrzu tym znajduje się wiele zanieczyszczeń. W warunkach pływania statku na pełnym morzu są to głównie kropel słonej wody z rozbryzgów na kadłubie statku lub porywane wiatrem z powierzchni fal. W powietrzu mogą znajdować się wtedy również drobne stałe cząstki soli lub inne drobne cząstki stałe, np. cząstki popiołu ze spalin z silnika zasysane z powietrzem roboczym, czy inne cząstki z systemu wentylacji statku.

Koncentracja kropel słonej wody w powietrzu roboczym i ich wielkość zależą głównie od miejsca usytuowania wlotu siłowni na statku, warunków atmosferycznych, głównie prędkości i kierunku wiatru, prędkości statku, wielkości i charakteru fal morskich itp.

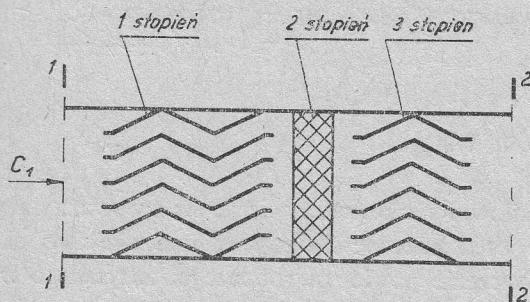
Na podstawie dostępnych wyników badań doświadczalnych prowadzonych na statkach w warunkach pływania na pełnym morzu, zanieczyszczenia powietrza roboczego można scharakteryzować następująco [2, 7, 8, 9, 11]:

- koncentracja soli w powietrzu roboczym $K=0,03 \cdot 10^{-5} \div 0,13 \cdot 10^{-5}$,
- wielkość kropli wody morskiej w powietrzu $d=0,4 \div 100 \mu\text{m}$,
- wielkość stałych cząstek soli w powietrzu $d=0,5 \div 2 \mu\text{m}$.

Obecność zanieczyszczeń w powietrzu roboczym silnika, głównie krolep wody morskiej i cząstek soli, wywołuje szkodliwe dla silnika efekty, prowadzące do obniżenia jego funkcjonalności i trwałości, a nawet do zniszczenia elementów silnika (np. [3, 4, 7, 8, 10]):

- erozja elementów przepływowych silnika,
- korozja elementów turbiny,
- tworzenie osadów, głównie na elementach przepływowych sprężarki.

Szkodliwe skutki oddziaływania powyższych efektów zależą od wielu czynników, takich jak parametry termodynamiczne i przepływowe silnika, konstrukcja jego części przepływowej, materiały zastosowane na elementy silnika itp. Niezależnie od powyższych czynników skutki te są zawsze tym silniejsze, im większa jest koncentracja zanieczyszczeń powietrza roboczego. Dlatego firmy produkujące silniki turbospalinowe dla napędu głównego statku na podstawie długoletnich doświadczeń określają dopuszczalną wartość koncentracji* soli w powietrzu roboczym dopływającym do silnika na $K_{\text{dop}} = (0,005 \div 0,01) \times 10^{-6}$. Utrzymanie koncentracji na wlocie do silnika na poziomie K_{dop} umożliwia utrzymanie gwarantowanej trwałości silnika. Z uwagi na to, że w bezpośrednim otoczeniu statku w powietrzu koncentracja soli jest znacznie większa, w kanale wlotowym siłowni statku, przed silnikiem turbospalinowym, instaluje się separator zanieczyszczeń powietrza roboczego, którego zadaniem jest obniżenie koncentracji soli co najmniej do wartości K_{dop} .



Rys. 1. Schemat 3-stopniowego separatora zanieczyszczeń powietrza; 1 stopień separuje duże krople wody, 2 stopień koaguluje małe krople wody w duże, 3 stopień separuje duże krople wody

1 – 1, 2 – 2 – przekroje kontrolne

Wymagania stawiane nowoczesnemu separatorowi zanieczyszczeń dla turbospalinowej siłowni statku są bardzo wysokie [2, 5, 7, 8]. Winna go cechować głównie bardzo wysoka sprawność, np. rzędu $\eta_{\text{sep}} \geq 0,99$, jak również bardzo niskie opory przepływu

* Koncentracja zanieczyszczeń w powietrzu określana jest jako stosunek masy zanieczyszczeń do masy powietrza zanieczyszczonego, tj.

$$K = \frac{\text{masa zanieczyszczeń}}{\text{masa powietrza} + \text{masa zanieczyszczeń}}$$

powietrza przez separator, np. $\Delta p_{\text{sep}} \leq 150 \text{ mm H}_2\text{O}$, przy dość wysokich prędkościach przepływu powietrza, np. $c = 10 \text{ m/s}$. Separator powinien wychwytywać z powietrza zarówno krople bardzo małe, np. o średnicy $d \approx 0,4 \div 5 \text{ }\mu\text{m}$, powodujące głównie tworzenie się osadów w części przepływowej silnika, jak i krople nieco większe i duże o wielkości $d > 10 \text{ }\mu\text{m}$, groźne z uwagi na erozję i korozję elementów silnika. Wymaganiom powyższym może sprostać jedynie separator wielostopniowy. Na rysunku 1 podano schemat separatora 3-stopniowego. Pierwszym stopniem takiego separatora jest palisada z elementów o działaniu inercyjnym. Krople wody dostające się wraz z powietrzem do palisady wyrzucane są z powietrza na skutek sił bezwładności wywołanych gwałtownymi zmianami kierunku przepływu. Krople te uderzają o powierzchnię elementów palisady. Siły adhezji umożliwiają tworzenie się na ściankach elementów filmu wodnego, który pod działaniem sił ciężkości spływa w dół po ich powierzchni, a następnie do kanałów drenazowych. Dobrze ukształtowaną palisadę z elementów inercyjnych cechuje wysoka sprawność separacji dość dużych kropeł wody o średnicy $d > 10 \div 15 \text{ }\mu\text{m}$. Dlatego funkcją pierwszego stopnia separatora jest wyłowienie z powietrza roboczego dużych kropeł wody morskiej i przez to znaczne obniżenie poziomu jej koncentracji w powietrzu. Większość małych kropeł przepływa swobodnie przez ten stopień separatora dzięki temu, że sprawność separacji palisady z elementów typu inercyjnego jest dla małych kropeł bardzo niska.

Zadaniem drugiego stopnia separatora jest koagulacja małych kropeł wody, które dostały się przez stopień pierwszy, w duże krople. Mogą one wtedy być wychwytywane w trzecim stopniu separatora, którym może być również palisada z elementów typu inercyjnego.

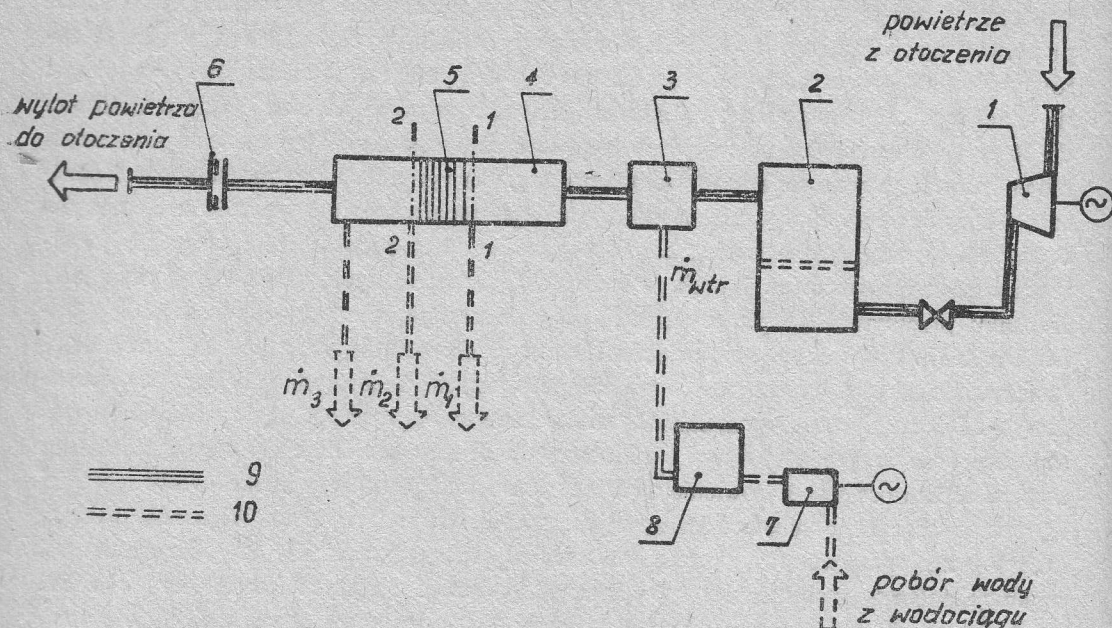
W dostępnej literaturze brak jest danych dotyczących konstrukcji i wyników badań odpowiedniego separatora zanieczyszczeń lub jego elementów. Dlatego podjęto badania na stoisku doświadczalnym.

2. Opis stoiska badawczego i metoda pomiarów

Schemat stoiska do badań palisad z elementów separujących przedstawiono na rys. 2.

Powietrze jest zasysane z otoczenia przez wentylator 1 o nominalnej wydajności $41 \text{ m}^3/\text{min}$ i wysokości tłoczenia $180 \text{ mm H}_2\text{O}$, napędzany silnikiem elektrycznym o mocy $2,8 \text{ kW}$. Wentylator tłoczy powietrze rurociągiem przez zawór regulacyjny do zbiornika wyrównawczego 2 i dalej do komory 3, w której znajduje się wtryskiwacz wody. Zwilżone powietrze przepływa do komory pomiarowej 4 w kształcie prostopadłościanu o wymiarach wewnętrznych $60 \times 95 \times 400 \text{ mm}$, wykonanej ze szkła organicznego. W połowie długości komory umieszczany jest badany element separujący. Komora ma system drenazowy pozwalający na odprowadzenie wody wyseparowanej na jej ściankach i w badanym elemencie. Z komory pomiarowej powietrze przepływa rurociągiem do zwężki pomiarowej 6 i następnie kolejnym odcinkiem rurociągu wypływa do otoczenia. Woda dla celów zwilżania powietrza pobierana jest z wodociągu, skąd tłoczona jest pompą 7 do zbiornika wyrównawczego 8. Następnie woda przepływa pod ciśnieniem $p_{\text{wtr}} \approx 4 \div 16 \cdot 10^5 \text{ Pa}$ do wtryskiwacza umieszczonego w komorze 3, w którym jest odpowiednio rozpylana, a następnie wtryskiwana do powietrza.

W trakcie badań określano doświadczalnie następujące wielkości:



Rys. 2. Schemat stoiska do badań elementów separujących

1 - 1, 2 - 2 - przekroje kontrolne
 1 - wentylator, 2 - zbiornik wyrównawczy powietrza, 3 - komora wtryskiwacza, 4 - komora pomiarowa, 5 - element separujący, 6 - zwężka pomiarowa, 7 - pompa wodna, 8 - zbiornik wyrównawczy wody, 9 - powietrzny kanał przepływowy, 10 - trakt wodny

a. Strumienie masy wody:

$\dot{m}_1$ - odprowadzanej przez kanał drenażowy bezpośrednio przed elementem separującym, a więc odseparowanej z przepływu w komorze pomiarowej, głównie na skutek osadzania kropeł wody na ściankach tej partii komory,

$\dot{m}_2$ - odseparowanej z przepływu w badanym elemencie separującym,

$\dot{m}_3$ - odprowadzonej przez kanał drenażowy usytuowany u wylotu komory pomiarowej,

$\dot{m}_{wtr}$ - wtrysniętej do powietrza przez wtryskiwacz.

Wartości $\dot{m}_1$, $\dot{m}_2$, $\dot{m}_3$ określono mierząc odpowiednie ilości masy wody spływającej w określonym czasie do pojemników. Wielkość $\dot{m}_{wtr}$ odczytywano z uzyskanej doświadczalnie charakterystyki wtryskiwacza w postaci $\dot{m}_{wtr} = f(p_{wtr})$, dla zmierzonej manometrem wartości ciśnienia p_{wtr} wody doprowadzonej do wtryskiwacza.

b. Parametry powietrza przepływającego przez zwężkę pomiarową:

Δp_z - spadek ciśnienia w zwężce pomiarowej,

p_z , T_z - ciśnienie i temperatura powietrza przed zwężką pomiarową.

c. Ciśnienie i temperatura powietrza (p_1 , T_1) w komorze pomiarowej przed palisadą separującą.

d. $\Delta p_{sep} = p_1 - p_2$ - spadek ciśnienia statycznego powietrza w przepływie przez palisadę separującą.

Wielkości spadków ciśnień mierzono uchylnymi manometrami cieczowymi. Pomiar

powyższych wielkości umożliwia określenie sprawności separacji η_{sep} i oporów przepływu powietrza przez palisadę separującą Δp_{sep} w funkcji prędkości przepływu w komorze pomiarowej c_1 .

Sprawność separacji η_{sep} palisady zdefiniowano [6] jako stosunek strumienia wody odseparowanej w palisadzie do strumienia masy wody przed palisadą

$$\eta_{sep} = \frac{\text{strumień masy wody odseparowanej w palisadzie}}{\text{strumień masy wody przed palisadą}},$$

a więc

$$\eta_{sep} = \frac{\dot{m}_2}{\dot{m}_{wtr} - \dot{m}_1}. \quad (1)$$

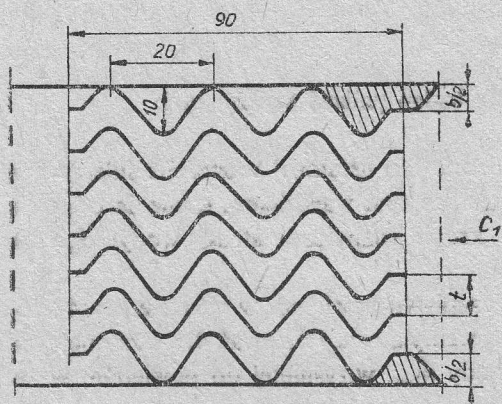
Wartość η_{sep} można więc obliczyć dla znanych z pomiarów wielkości według punktu (a).

Pomiaru strumienia masy $\dot{m}_3$ dokonywano dodatkowo, dla wyciągnięcia pewnych wniosków odnośnie do losu kropeł wody opuszczających palisadę separującą. Średnią prędkość przepływu powietrza w przekroju komory pomiarowej, usytuowanym przed palisadą separującą, obliczono z równania ciągłości strumienia powietrza

$$c_1 = \frac{\dot{m}_p}{\rho_1 A_1}, \quad (2)$$

gdzie A_1 — powierzchnia czynnego przekroju wlotu do palisady separującej.

Strumień masy powietrza $\dot{m}_p$ określono przy tym z zależności dla normalnych zwężeń pomiarowych, przy wykorzystaniu danych doświadczalnych według punktu (b). Z kolei gęstość powietrza ρ na wlocie do palisady obliczono z równań stanu dla danych doświadczalnych według punktu (c).

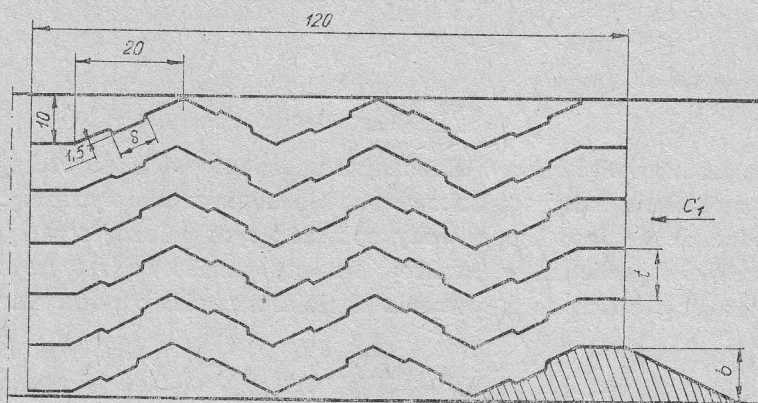


Rys. 3. Schemat palisady z elementami sinusoidalnymi

Badaniom poddano 2 typy palisad z elementów typu inercyjnego*, a mianowicie palisadę z elementów sinusoidalnych i z elementów skośnych. Schemat i wymiary charakterystyczne palisad przedstawiono na rysunkach 3 i 4. Jak z nich widać, elementy sinu-

* Koncepcję zastosowania tego typu elementu w separatorze dla turbospalinowej siłowni statku podano już w 1959 r. [1]. Badaniom poddano wtedy palisadę utworzoną z kątowników.

soidalne wykonane są z gładkiej blachy, a elementy skośne posiadają wgłębienia, tworzące pionowe kanały. Myślą przewodnią zastosowania takich kanałów było umożliwienie bardziej swobodnego, sukcesywnego spływu wody bezpośrednio po wyseparowaniu jej z powietrza. Wywołane tym zmniejszenie grubości filmu wodnego znajdującego się na powierzchni elementów, jak również na ich krawędziach spływowych, powinno wpłynąć na uzyskanie wyższych wartości sprawności η_{sep} przy wysokich wartościach prędkości przepływu powietrza c_1 .



Rys. 4. Schemat palisady z elementów skośnych

Posługując się prostym, własnym oprzyrządowaniem, elementy tłoczono w wyżarzanej blasze miedzianej o grubości 0,5 lub 1 mm. Tak uzyskane elementy swym kształtem odpowiadały elementom zaprojektowanym z dokładnością do około 0,2 mm.

Zmianę wielkości t palisad badanych umożliwiał dobór odpowiedniej liczby elementów, z których je tworzone.

3. Wyniki doświadczalnych badań palisad separujących

Doświadczalne badania palisad prowadzono dla ustalonej wartości ciśnienia wtrysku wody $p_{wtr} = 4 \cdot 10^5$ lub $16 \cdot 10^5$ Pa. Oszacowano, że tym wartościom ciśnienia odpowiadają odpowiednio wielkości średniej średnicy kropli rozpylonej strugi wody: $d_{sr} \approx 100 \mu m$ i $60 \mu m$.

W trakcie badań zmieniano prędkość przepływu powietrza w zakresie $c_1 \approx 4 \div 15$ m/s, regulując odpowiednio natężenie przepływu wentylatora. Ponieważ dla ustalonej wartości ciśnienia $p_{wtr} = \text{const}$ stały jest strumień wody $\dot{m}_{wtr}$ wtrysniętej do powietrza, w trakcie badań różnym wartościom prędkości c_1 odpowiadały różne wartości koncentracji K wody w powietrzu. W warunkach prowadzonych badań występowały wartości $K = 0,03 \div 0,10$.

Uzyskane wyniki badań przedstawiono na rysunkach 5 i 6. Z rysunku 5 wynika, że dla obu palisad wzrost prędkości przepływu powietrza powoduje wyraźne obniżenie sprawności η_{sep} . Dla ustalonej wartości c_1 w palisadzie z elementów sinusoidalnych uzyskiwano niższe wartości sprawności η_{sep} niż w palisadzie z elementów skośnych. Przykładowo, dla prędkości przepływu powietrza $c_1 = 10$ m/s w pierwszej z nich uzyskano niskie wartości $\eta_{sep} \approx$

0,65÷0,70, a w drugiej znacznie wyższe wartości $\eta_{sep} \approx 0,80 \div 0,85$. Tłumaczyć to można następująco: o wartości η_{sep} decydują dwa efekty, a mianowicie osiadanie kropeł na powierzchni elementów oraz odprowadzenie tak wyseparowanej na tej powierzchni wody do drenażu. W palisadzie z elementów sinusoidalnych należy oczekiwać, że efekt pierwszy jest silniejszy, ponieważ występują tam bardziej gwałtowne zmiany kierunku przepływu powietrza. Niskie wartości η_{sep} uzyskiwane w palisadach z elementów sinusoidalnych przy wyższych prędkościach c_1 tłumaczyć można występującym wtedy intensywnym wrywaniem przez strumień powietrza dużych wtórnych kropeł wody z filmu spływającego po ściankach elementów. Krople te przerzucane są przez spływ drenażowy, usytuowany bezpośrednio za badanym elementem. Uzasadnienie to potwierdzają wyniki pomiarów strumienia wody m_3 , odseparowanej w komorze pomiarowej za elementem separującym.

Z kolei w palisadzie z elementów skośnych kanały umożliwiają spływ większej ilości wody z filmu na powierzchni elementów do drenażu. Równocześnie dla warunków prowadzonych badań efekt osiadania kropeł na powierzchni elementów jest, jak widać, dostatecznie intensywny. W wyniku sprawność η_{sep} jest wyższa. Poza tym z rysunku 5 wynika, że dla określonej prędkości przepływu powietrza $c_1 = \text{const}$ na ogół wyższe sprawności η_{sep} otrzymywano przy stosowaniu niższych wartości ciśnienia wtrysku wody. Zgodne to jest z oczekiwaniami. Przy niższych wartościach p_{wtr} średnica d_{sr} rozpylonych przez wtryskiwacz kropeł jest większa i elementy typu inercyjnego działają wtedy bardziej efektywnie.

Na podstawie wyników przedstawionych na rysunku 5 trudno jest uchwycić wpływ wartości podziałki t palisady separującej na sprawność η_{sep} . Na przykład dla palisady z elementów skośnych w zakresie prędkości $c_1 = 7 \div 13$ m/s najniższe wartości sprawności uzyskiwano dla średniej ze stosowanych wartości podziałki $t = 8,33$ mm. Nasuwa to przypuszczenie o występowaniu pewnej optymalnej, z uwagi na η_{sep} , wartości podziałki t .

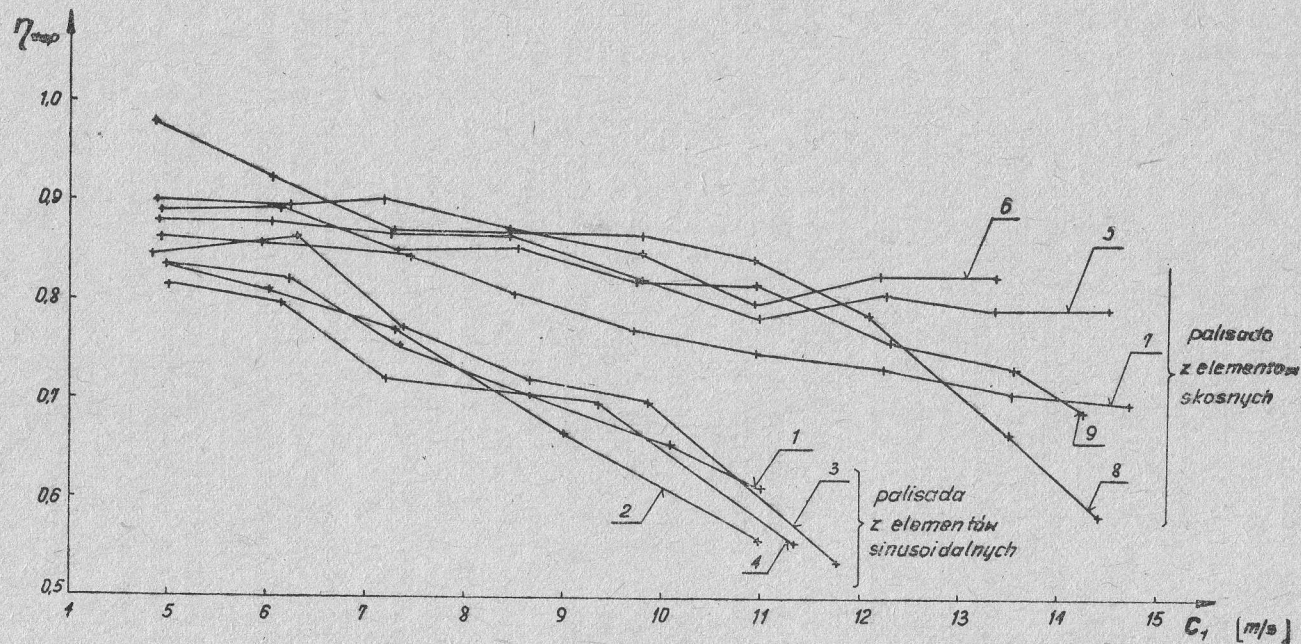
Na rysunku zestawiono uzyskane doświadczalnie wartości spadku ciśnienia powietrza Δp_{sep} w palisadach separujących w funkcji prędkości c_1 . Widać stąd, że dla określonej wartości prędkości c_1 w palisadzie z elementów sinusoidalnych, w przypadku wtrysku wody, opory przepływu powietrza są znacznie wyższe niż w palisadzie z elementów skośnych.

W palisadzie z elementów sinusoidalnych opory przepływu gwałtownie rosną przy wtrysku wody i praktycznie nie zależą one wtedy od wartości podziałki t palisady. Tłumaczyć to można bardzo silnymi zakłóceniami przepływu powietrza kroplami wody wrywającymi z filmu ściekającego po ściankach elementów, jak również pojawieniem się dużych stref oderwań warstwy przyściennej w przepływie.

W palisadzie z elementów skośnych przy badaniach z wtryskiem wody opory przepływu powietrza są zaledwie nieco wyższe od oporów dla przypadku bez wtrysku wody. Z uwagi na niższe opory przepływu celowe jest wtedy stosowanie większych podziałek t palisady.

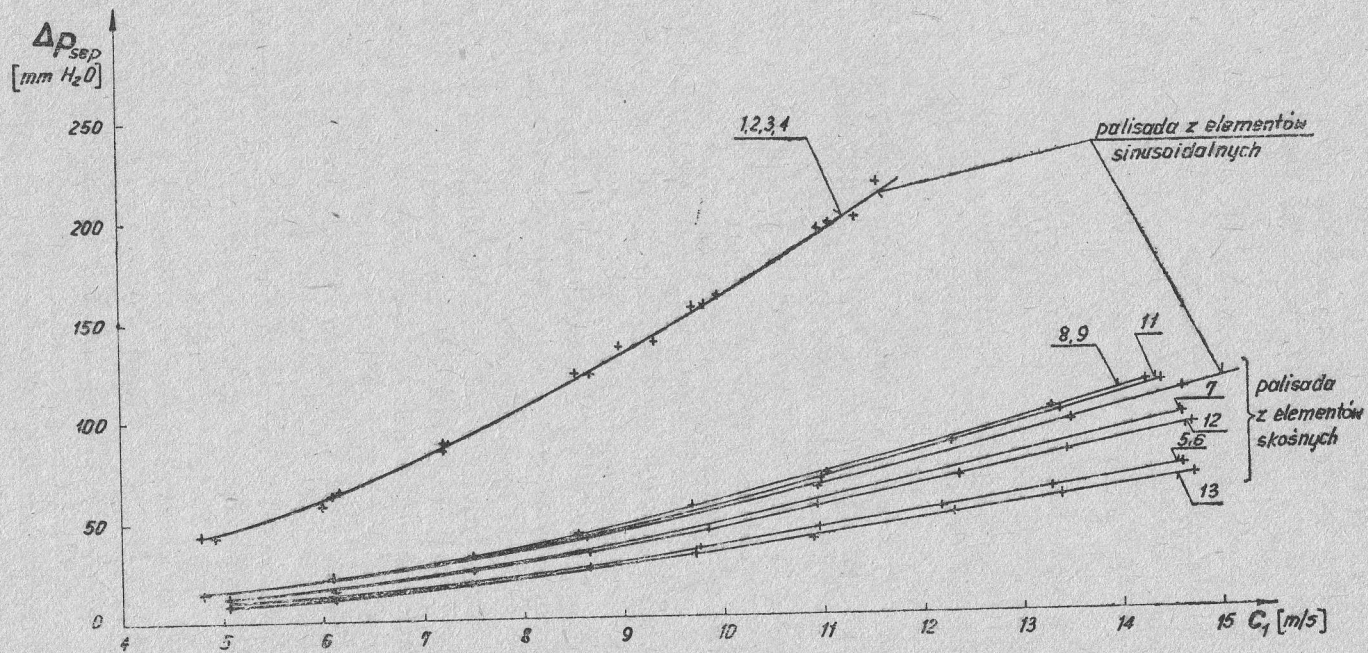
4. Uwagi końcowe i wnioski

W pracy przedstawiono metodę i wyniki badań doświadczalnych palisad separujących z elementów o działaniu inercyjnym, które ewentualnie mogłyby znaleźć zastosowanie w wielostopniowym separatorze zanieczyszczeń dla turbospalinowej siłowni statku. Ba-



Rys. 5. Sprawność separacji η_{sep} w funkcji prędkości powietrza c_1 dla badanych palisad separujących (+ punkty pomiarowe)

1 - $t=8,33$ mm $p_{wtr}=16 \cdot 10^5$ Pa	4 - $t=7,14$ mm $p_{wtr}=4 \cdot 10^5$ Pa	7 - $t=8,33$ mm $p_{wtr}=16 \cdot 10^5$ Pa
2 - $t=8,33$ mm $p_{wtr}=4 \cdot 10^5$ Pa	5 - $t=10$ mm $p_{wtr}=16 \cdot 10^5$ Pa	8 - $t=7,14$ mm $p_{wtr}=16 \cdot 10^5$ Pa
3 - $t=7,14$ mm $p_{wtr}=16 \cdot 10^5$ Pa	6 - $t=10$ mm $p_{wtr}=4 \cdot 10^5$ Pa	9 - $t=7,14$ mm $p_{wtr}=4 \cdot 10^5$ Pa



Rys. 6. Spadek ciśnienia Δp_{sep} w funkcji prędkości powietrza c_1 dla badanych palisad

+ punkty pomiarowe, 1 ÷ 9 – wyniki badań palisad z wtyskiem wody do powietrza (numeracja krzywych analogiczna jak na rys. 5), 11 ÷ 13 – wyniki badań palisad bez doprowadzenia wody, przy czym
 11 – $t=7,14$ mm, 12 – $t=8,33$ mm, 13 – $t=10$ mm

daniom poddano palisadę z elementów sinusoidalnych i palisadę z elementów skośnych. Opierając się na wynikach badań można stwierdzić, że:

1) dla separatora turbospalinowej siłowni statku nadawałaby się ewentualnie jedynie palisada z elementów skośnych; w warunkach wykonanych badań palisadę tę cechuje:

- dość wysoka sprawność $\eta_{sep} \approx 0,85$,
- niskie straty ciśnienia $\Delta p_{sep} \approx 50$ mm H₂O, przy wysokich wartościach prędkości przepływu powietrza w przekroju wlotu do palisady $c_1 = 10$ m/s;

2) z uwagi na niską sprawność η_{sep} i duże opory przepływu przy takich prędkościach c_1 badana palisada z elementów sinusoidalnych nie mogłaby być zastosowana w separatorze.

Należy tu sobie zdać sprawę z tego, że badania prowadzono w bardzo ograniczonym zakresie wartości parametrów decydujących o właściwościach palisady separującej. Warunki wykonanych badań charakteryzują w skrócie następujące dane:

- konfiguracje elementów palisad odpowiednio według rysunków 3 lub 4,
- wysokość obu palisad 95 mm,
- prędkość przepływu powietrza w przekroju wlotu do palisady $c_1 \approx 4 \div 15$ m/s,
- średnia wielkość kropeł wtryskiwanej wody $d_{sr} \approx 60$ i 100 μ m,
- koncentracja wody w powietrzu $K \approx 0,03 \div 0,10$.

Badania prowadzono więc dla jednej konfiguracji elementów palisady. Wysokość palisad, wielkość kropeł wtryskiwanej wody, jak również jej koncentracja w powietrzu, znacznie odbiegają od wielkości charakterystycznych dla warunków przewidywanego zastosowania separatora. Dlatego przeprowadzone badania doświadczalne palisad należy uznać jedynie za wstępne. Uzyskane wyniki nie pozwalają na wybór palisady optymalnej z uwagi na sprawność η_{sep} dla określonych warunków przepływu zanieczyszczonego powietrza na wlocie do separatora. Odpowiednich danych mogłyby dostarczyć jedynie dalsze systematyczne badania, których program między innymi pozwoliłby na określenie wpływu na sprawność η_{sep} i opory Δp_{sep} następujących czynników:

a. Konfiguracji geometrycznych elementów palisady. Możliwości ukształtowania elementów jest bardzo dużo. Na przykład dla elementu skośnego można zmieniać kształt podstawowy, usytuowanie kanałów, wymiary kanałów, długość elementu.

b. Wysokości palisady. W separatorze zanieczyszczeń dla siłowni statku wysokość palisad jest co najmniej 5 razy większa od wysokości palisad badanych doświadczalnie. Oczywiście warunki splywu filmu wody po powierzchni elementu takiej palisady będą się znacznie różniły od warunków, w których prowadzono badania. Powstawanie grubszego filmu wody sprzyja oderwaniom filmu, a tym samym pogorszeniu sprawności palisady.

c. Wielkości wtryskiwanych do powietrza kropeł i ich koncentracji. W przeprowadzonych badaniach doświadczalnych zastosowano wtryskiwacz rozpylający doprowadzoną do niego wodę w postaci kropeł o bardzo zróżnicowanej wielkości, przy czym średnia wielkość kropeł była stosunkowo duża. Uniemożliwiło to zbadanie możliwości separacji z powietrza bardzo małych kropeł wody. W dalszych badaniach doświadczalnych należałoby zastosować system rozpylania wody zapewniający widmo dyspersji wody identyczne z występującym w normalnych warunkach pracy separatora lub dający określone, w przybliżeniu stałe wielkości kropeł.

Dla uzyskania materiałów niezbędnych dla konstrukcji wielostopniowego separatora

zanieczyszczeń dla turbospalinowej siłowni statku należałoby prowadzić również dalsze badania teoretyczne i doświadczalne, obejmujące głównie:

- badania drugiego stopnia separatora, koagulującego małe krople wody w duże,
- badania współpracy poszczególnych stopni separatora dla uzyskania charakterystyki grup stopni,
- badania całego separatora wielkości naturalnej, również w warunkach pływania statku po morzu.

Praca wpłynęła do Redakcji w kwietniu 1979 r.

Literatura

- [1] W. Brzozowski, J. Prokopowicz, J. Michna, *Badania inercyjnego oddzielacza wody*. Oprac. IMP PAN, 1959.
- [2] G. Fischer, K. Müller, R. Schiffmann, *Gastusbinenanlagen in Schiffen bewährt*. Schiff und Hafen, 1975, H. 4, S. 269 - 273.
- [3] C. L. Knauf, B. R. Mc Caffrey, J. M. Vitelli, *A test program to provide an economic evaluation of techniques to control corrosion in gas turbines*. Gas Turbine Intern. May-June, 1976.
- [4] M. G. Mund, T. E. Wright, *Design development and application of air cleaners for gas turbines*. S. A. E. Paper No 538 B, June 1962.
- [5] *Peerless clean air for offshore gas turbines*. Gas and Oil Power, 1975, No 787, p. 176.
- [6] J. Prokopowicz, R. Kozubowski, *Badania doświadczalne elementów separujących wielostopniowego separatora zanieczyszczeń*. Oprac. IMP PAN, 1975.
- [7] J. Prokopowicz, *Warunki pracy separatora zanieczyszczeń powietrza roboczego na statku*. Oprac. IMP PAN, 1976.
- [8] J. Prokopowicz, *Removal of contaminations from air delivered to marine gas turbines*. Budownictwo Okrętowe, 1978. Nr 3, str. 103 - 105.
- [9] *Removing salt from turbine intake*. Diesel and Gas Turbine Progress, 1977, Jan., pp. 12 - 13.
- [10] C. D. Wood, P. W. Espenschade, *Mechanism of dust erosion*. S. A. E. Paper, No 880A, 1964.
- [11] K. Yoshimoto, Y. Hirata, M. Chiba, *Salt in sea atmosphere and its removal for gas turbines*. ASME Paper 76-GT-58, 1976.

Экспериментальное исследование решеток сепаратора засорений рабочего воздуха газотурбинного двигателя главного привода судна

Резюме

В работе в разд. 1 выясняется, по какой причине необходимо применять сепаратор засорений рабочего воздуха на входном тракте газотурбинной силовой установки судна. Коротко характеризуются требования предъявляемые современным сепараторам для вышеопределенных целей. В разд. 2 дано описание экспериментального стенда и метода исследований сепарирующих решеток, которые могли бы быть использованы в сепараторе. Исследованиям подвергались два типа решеток составленных из элементов инерционного действия, согласно с рис. 3 и 4. Результаты исследований представлены на рис. 5 и 6. Из них следует, что для сепаратора газотурбинной силовой установки судна пригодна могла бы быть единственно решетка представленная на рис. 4. В условиях проведенных исследований эта решетка характеризуется довольно высокой эффективностью сепарации $\eta_{\text{сеп}} \approx 0,85$

и низким значением сопротивления течения $\Delta p_{sep} \approx 50 \text{ мм H}_2\text{O}$ при значениях скорости течения воздуха на входе в решетку $c_1 = 10 \text{ м/сек.}$

Во время исследований учитывалась только часть элементов решающих о пригодности решеток в сепараторе засорений силовой установки судна. Поэтому проведенные исследования и их результаты необходимо считать предварительными. В разд. 4 указывается на целесообразность дальнейших исследований необходимых для конструкции современного сепаратора засорений.

Experimental Investigations of Palisades of a Contamination Separator for Gasturbine Powered Ships

Summary

In the first section the necessity of using a separator in the intake duct of an engine room for the removal of contamination from the working air for the turbine is explained. Requirements to be met by modern separators for such applications are characterized briefly. Section 2 contains the description of an experimental rig and presents the method of investigation of separating palisades that could be used in the separator. Two types of palisade consisting of components of inertial action as shown in Figures 3 and 4 were examined. The results are shown in Figures 5 and 6. According to them only the palisade as shown in Figure 4 could be adopted in a gasturbine powered ship engine room separator. For conditions as maintained during the investigations this palisade showed a satisfactory efficiency $\eta_{sep} \approx 0.85$ and a low flow resistance $\Delta p_{sep} \approx 50 \text{ мм H}_2\text{O}$ for the air velocity in the palisade inlet section $c_1 = 10 \text{ м/с.}$

The investigations were concerned with only a part of factors deciding on the applicability of a palisade in a ship engine room contamination separator. Hence the preliminary nature of the investigations and their results. The necessity of further research required to design a modern contamination separator is pointed out in section 4.