

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

PRACE
INSTYTUTU MASZYN
PRZEPŁYWOWYCH

TRANSACTIONS
OF THE INSTITUTE OF FLUID-FLOW MACHINERY

67-68

WARSZAWA—POZNAŃ 1975

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

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 Fiszer 14, tel. 41-12-71

Copyright
by Państwowe Wydawnictwo Naukowe
Warszawa 1975

Printed in Poland

PAŃSTWOWE WYDAWNICTWO NAUKOWE - ODDZIAŁ W POZNANIU

Nakład 380 + 90 egz.	Oddano do składania 10 I 1975 r.
Ark. wyd. 28,5. Ark. druk. 22	Podpisano do druku 20 IX 1975 r.
Pap. druk. sat. kl. V, 70 g 70×100 cm	Druk ukończono we wrześniu 1975 r.
Nr zam. 112/77	R-17/661 Cena zł 86,-

DRUKARNIA UNIwersytetu im. A. Mickiewicza w Poznaniu

HYDROFORUM

KONFERENCJA NAUKOWO-TECHNICZNA

na temat

WSPÓŁCZESNE PROBLEMY BADAŃ
I EKSPLOATACJI MASZYN HYDRAULICZNYCH

Gdańsk, 3 - 5 października 1973 r.

*

HYDROFORUM

SCIENTIFIC-TECHNICAL CONFERENCE

on

MODERN PROBLEMS OF RESEARCH AND
UTILIZATION OF HYDRAULIC MACHINES

Gdańsk, October 3 - 5, 1973

*

ГИДРОФОРУМ

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

на тему

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ИССЛЕДОВАНИЙ
И ЭКСПЛУАТАЦИИ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ МАШИН

г. Гданьск, 3 - 5 октября 1973 г.

JERZY WIKTOROWICZ

Gdańsk*

Żywotność pomp wirowych na statkach rybackich

1. Metoda pracy ekipy badawczej

Instytut Morski, prowadząc badania w ramach problemu resortowego pt. „Podnoszenie gotowości technicznej statków”, przeprowadza oględziny mechanizmów i urządzeń, w tym także pomp na statkach rybackich. Oprócz obserwacji własnych zbiera informacje od załóg pływających oraz z dokumentów i specyfikacji remontowych.

Dla wszystkich mechanizmów, urządzeń przetwórczych i chłodniczych na statkach rybackich sporządzono karty informacyjne, które są wypełniane w miarę otrzymywania wiadomości. Informacje napływają nieregularnie i przeważnie wtedy, kiedy urządzenie jest nieczynne z powodu uszkodzenia, było naprawiane lub z okazji planowanego remontu całego statku.

Podczas zbierania informacji i wypełniania ankiety napotymano więc szereg trudności, które bądź utrudniały, bądź też uniemożliwiały osiągnięcie pełnej informacji. Do trudności tych należy zaliczyć brak na statkach wpisów do dokumentów, które ujawniałyby usterki, wady, nieprawidłowości w pracy, awarie, przeprowadzone przeglądy, konserwacje i remonty, a także brak ciągłości zapisów pomiarów, które wskazywałyby na przebieg zużycia określonych części. Brak możliwości uzyskania wyczerpujących informacji wynika także z dużej rotacji załóg łącznie z kadrą oficerską i wszystkimi specjalistami oraz wykonywanie remontów za granicą.

Do analizy pozostają więc krajowe specyfikacje remontowe, zapisy w dziennikach maszynowych, zapisy w komórkach technicznych na łodzi u armatorów oraz notatki prowadzone przez oficerów dla ich własnych celów. Uzyskany tą drogą materiał daje pewien pogląd na przydatność pomp do wyznaczonych zadań, na ich jakość oraz częstotliwość i przyczyny uszkodzeń. Na tej podstawie można również wnioskować o odporności pomp na działanie wody morskiej w specyficznych warunkach panujących na statkach łowczo-przetwórczych oraz wyciągnąć wnioski odnośnie do konstrukcji i technologii wykonawstwa pomp. Należy jednak liczyć się z tym, że część informacji pochodzi od załóg, które nie są zainteresowane w ujawnianiu uszkodzeń wynikłych wskutek złej eksploatacji. Uwzględniając ten czynnik należy ostrożnie podchodzić do wniosków opartych na informacjach nie zawsze w pełni wiarygodnych.

* Instytut Morski — Zakład Remontów Statków.

2. Warunki pracy pomp na statkach rybackich

Pompy na statkach rybackich pracują w szczególnie trudnych warunkach. Pompy obsługujące przetwórnice oraz siłownię przetłaczają wodę morską, wodę słodką, tran, olej, solankę, zawiesiny białkowe oraz freon. Najbardziej intensywnie eksploatowane są pompy podające wodę morską do płukania ryb oraz do chłodzenia skraplaczy i chłodnic. Pompy zainstalowane w miejscach, w których występują drgania, spowodowane pracą innych mechanizmów i silnika głównego oraz odkształcenia kadłuba spowodowane kołysaniem się na fali, pracują w szczególnie trudnych warunkach. Drgania powodują lokalne naprężenia w elementach pomp, które obok różnicy potencjałów, występujących w środowisku pracy pomp, sprzyjają powstawaniu lokalnych ogniw i działaniu korozji elektrochemicznej. Woda morska i odpady przetwórcze mieszają się często z cieczą smarującą i powodują szybkie zużywanie się części współpracujących.

3. Niezawodność pomp wirowych

Okresy niezawodności pomp wirowych wyznaczono na podstawie obliczeń, które wykonano w oparciu o zebrane dane liczbowe. Sposób obliczeń podano na przykładzie pompy typu WOC-40. Dla niektórych typów pomp wyznaczono prawdopodobieństwo pracy bezawaryjnej dla 3600 - 4000 godzin, określonych w instrukcji jako czas pracy pompy do pierwszego remontu bieżącego.

W okresie dwuletnich badań stwierdzono na 7 statkach rybackich, które były obiektem obserwacji, 86 uszkodzeń pomp typu WOC-40. Na podstawie znajomości okresów pracy między uszkodzeniami (185 524 h) obliczono średni czas bezusterkowej pracy pompy WOC-40, który wynosi

$$\theta_{sr} = \frac{185\,524}{86} = 2157 \text{ h.}$$

Obliczono także średni czas pracy do pierwszego remontu, licząc za remont pierwszy taki remont, który jest pierwszym po zamontowaniu pompy lub po remoncie kapitalnym. W tym celu wzięto pod uwagę tylko czasy bezusterkowej pracy do pierwszego uszkodzenia nowej pompy lub pompy po remoncie kapitalnym. Dla 15 próbek czas ten wynosił 50 060 h. Obliczony na tej podstawie średni czas pracy do pierwszego remontu wyniósł

$$\theta_{sr} = \frac{50\,060}{15} = 3337 \text{ h.}$$

Pomimo małej liczebności próbek można stwierdzić, że średni okres pracy do pierwszego remontu jest znacznie większy niż między kolejnymi remontami, gdyż

$$3337 \text{ h} > 2157 \text{ h.}$$

Prawdopodobieństwo niewystępowania uszkodzeń w funkcji czasu pracy ma postać następującą:

$$P(\theta) = e^{-w(\theta)\theta},$$

Tabela 1
Procentowe prawdopodobieństwo pracy bezawaryjnej

Typ pompy	Prawdopodobieństwo bezawaryjnej pracy [%]
40 WOC	20
25 WOC	23
100 WOC	32
160 WOC	30
40N – 165	28
65N – 210	27

gdzie $0 \leq P(\theta) \leq 1$ jest funkcją niezawodności, a $w(\theta)$ parametrem niesprawności wyrażanym na jednostkę czasu. Wielkość $P(\theta)$ przedstawia liczbowo średnie prawdopodobieństwo uszkodzenia pompy w jednostce czasu pod warunkiem, że do tej chwili uszkodzenie nie wystąpiło. Parametr natężenia niesprawności $w(\theta)$, będący jednym z ważniejszych wskaźników pewności działania układów i ich elementów, charakteryzuje intensywność powstawania uszkodzeń.

W czasie eksploatacji parametr $w(\theta)$ ulega zmianie. Zakładając jednak, że urządzenie znajduje się w okresie eksploatacji stabilnej (nie jest jeszcze poważnie zużyte) i że po remoncie stan techniczny urządzenia jest podobny do nowego, można napisać, że

$$w(\theta) = w_{sr} = \text{const.}$$

Przy tym założeniu funkcja niezawodności $P(\theta)$ przyjmuje postać:

$$P(\theta) = e^{-w_{sr}\theta}.$$

Znając średni czas bezusterkowej pracy badanej pompy możemy obliczyć parametr natężenia usterek, który w badanych warunkach wynosił:

$$w(\theta) = w_{sr} = \frac{1}{\theta_{sr}} = 0,000463 \text{ h}^{-1}.$$

Dla wykonania wykresu statystycznej funkcji prawdopodobieństwa czasu bezawaryjnej pracy pompy przyjęto, że maksymalny czas bezawaryjnej pracy wynosi 2 lata, tj. około 8000 h. Okres ten podzielono na 8 przedziałów po 1000 h, co odpowiada w przybliżeniu czasowi 1 rejsu eksploatacyjnego, a więc okresowi, w którym statek nie zawija do portu, a przebywa na łowiskach lub w drodze. Ilość przypadków uszkodzeń przypadającą na poszczególne przedziały czasowe zestawiono w tabeli 2.

W tej samej tabeli podano także statystyczne i spodziewane (teoretyczne) prawdopodobieństwo uszkodzeń pompy, odpowiadające jakiejś części przedziału operacyjnego, licząc od jego lewej granicy na wykresie ogólnym intensywności uszkodzeń.

Statystyczne prawdopodobieństwo, że pompa pracuje bezawaryjnie 1000 h, 2000 h itd. liczono dzieląc różnicę między całkowitą ilością przypadków a ilością przypadków w poszczególnych przedziałach, przez całkowitą ilość przypadków.

Tabela 2

Prawdopodobieństwo uszkodzeń pompy w okresie operacyjnym

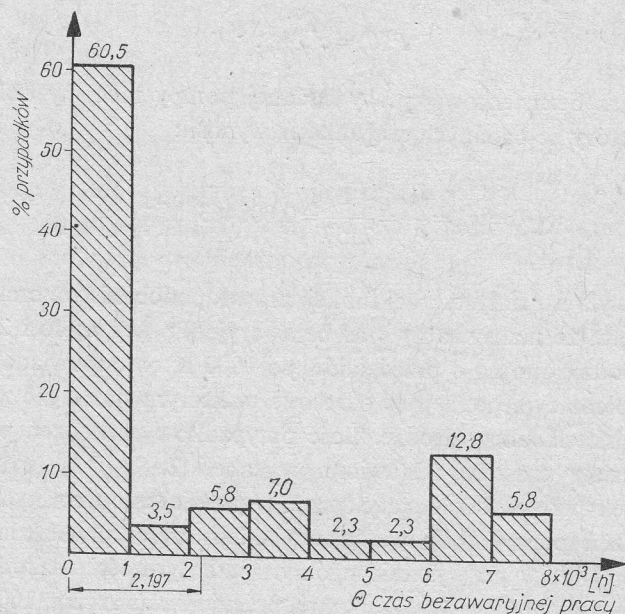
Nr przedziału	Przedział czasu [h]	Liczba przypadków	$P(\theta)$		% przypadków
			statystyczne	teoretyczne	
1	- 1000	52	1	0,64	60,5
2	1000 - 2000	3	0,395	0,37	3,5
3	2000 - 3000	5	0,360	0,30	5,8
4	3000 - 4000	6	0,302	0,24	7,0
5	4000 - 5000	2	0,232	0,22	2,3
6	5000 - 6000	2	0,209	0,19	2,3
7	6000 - 7000	11	0,186	0,06	12,8
8	7000 - 8000	5	0,058	0,00	5,8

Dla przedziałów czasowych 2000, 3000 itd. spodziewane prawdopodobieństwo uszkodzeń pompy wyliczono ze wzoru:

$$P(\theta) = e^{-0,000463 \theta}$$

Prawdopodobieństwo, że w chwili $\theta=0$ pompa będzie całkowicie sprawna ($P(\theta)=1$) wynika z tego, że jest ona sprawna w momencie uruchomienia po usunięciu usterki.

Na podstawie danych z tabeli 2 sporządzono histogram bezusterkowego czasu pracy pompy (rys. 1) oraz wykresy statystycznej i teoretycznej funkcji niezawodności (rys. 2). Procent przypadków wyliczono dzieląc ilość przypadków w poszczególnych przedziałach



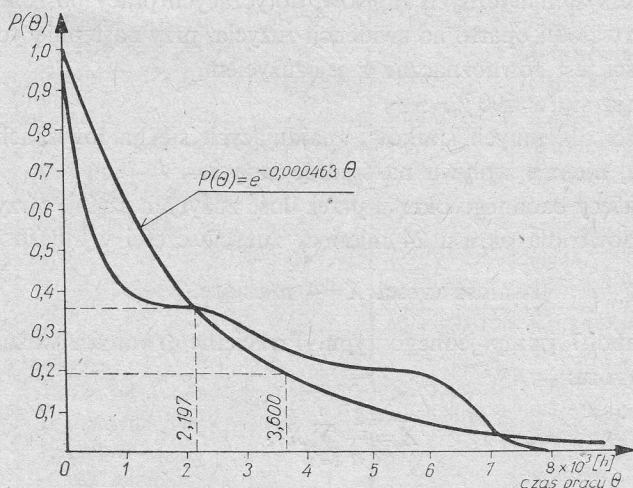
Rys. 1. Histogram bezusterkowego czasu pracy pompy wody morskiej WOC-40

przez całkowitą ilość przypadków. Tak np. dla pierwszego przedziału czasowego

$$\frac{52}{86} \cdot 100 = 60,5\%.$$

Z histogramu na rys. 1 widać, że najwięcej przypadków niesprawności jest w pierwszym okresie (1000 godzin) pracy. W okresie średniego czasu bezusterkowej pracy $\theta_{sr} = 2157$ h procent przypadków niesprawności pompy wynosi 5,8.

Z wykresu statystycznej i teoretycznej funkcji prawdopodobieństwa widać, że obie krzywe mają podobny charakter, chociaż w niektórych miejscach krzywa wartości statystycznych znacznie odbiega od krzywej teoretycznej. Prawdopodobieństwo przepracowania przez pompę bez usterek 2197 h oznacza, że średnia wartość okresu pracy bezawaryjnej wynosi tylko 0,36.



Rys. 2. Statystyczna i teoretyczna funkcja niezawodności $P(\theta)$ dla pomp WOC-40

Tabela 3

Rodzaje uszkodzeń pomp typu WOC-40

Lp.	Uszkodzona część	Ilość	%	Rodzaj remontu
1	Wał pompy	17	19,8	wymiana
2	Dławnice	21	24,4	„
3	Wirnik	5	5,8	„
4	Łożyska toczne	14	16,3	„
5	Łożyska ślizgowe	13	15,1	„
6	Pierścienie uszczelniające	14	16,3	„
7	Korpus	2	2,3	wymiana pompy w czasie remontu klasowego
		86	100,0	

Dokumentacja techniczno-ruchowa pomp WOC podaje okres 3600 - 4000 godzin pracy do remontu bieżącego, a 7200 - 8000 godzin do remontu głównego. Zgodnie z przeprowadzonymi obserwacjami należy stwierdzić, że prawdopodobieństwo przepracowania przez pompę bez usterek 3600 godzin na statku rybackim wynosi 0,2, a więc około 80 % pomp ulega uszkodzeniu przed tym terminem.

Uszkodzenia elementów pomp, które były przyczyną ich awarii, zestawiono w tabeli 3. Z zestawienia wynika, że najsłabszym elementem są dławnice, następnie wały, pierścienie uszczelniające wirnik oraz łożyska.

4. Trwałość części pomp

Ponieważ brakuje systematycznych zapisów, dotyczących pracy poszczególnych części pomp, badanie ich trwałości oparto na ewidencji zużycia, przy następujących założeniach:

- pobranie części jest równoznaczne z jej zużyciem,
- części zużywają się w 100 %,
- pobranie części dla innych statków, znajdujących się na łowiskach, przez statki wychodzące z portu, nie ma wpływu na średnie zużycie.

Dzieląc ilość miesięcy badanego okresu przez ilość zużytych części, otrzymujemy trwałość części. Przykładowo dla okresu 24 miesięcy zużycie części wynosiło 6 szt., a więc:

$$\text{trwałość części } X = 4 \text{ miesiące.}$$

W ten sposób badano 7 pomp jednego typu. Przeciętne trwałości ważniejszych części obliczono według wzoru:

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i,$$

gdzie n — ilość badanych pomp. Wyniki obliczeń zestawiono w tabeli 4.

5. Wnioski

Pomimo pewnych braków w ciągłości danych i niepełnej ich wiarygodności, wstępne badania statystyczne pozwalają wyciągnąć następujący wniosek:

Częstotliwość uszkodzeń pomp wirowych w czasie eksploatacji jest dużo większa niż to przewiduje producent w instrukcjach fabrycznych, a zatem okresy bezawaryjnej pracy są krótsze.

Najważniejsze przyczyny uszkodzeń są następujące:

- użycie przez producenta materiałów mało odpornych na pompowany czynnik, szczególnie na wodę morską oraz wodę zanieczyszczoną tłuszczem i odpadami ryb,
- nieodpowiednie rozwiązania konstrukcyjne, szczególnie ułożyskowania i uszczelnienia,
- niewłaściwa eksploatacja pomp,

Tabela 4

Przybliżona trwałość ważniejszych części pomp

Typ pompy	Nazwa części	Trwałość w miesią- cach	Typ pompy	Nazwa części	Trwałość w miesią- cach
40 WOC	Korpus	36	160 WOC	Korpus	72
	Wirnik	30		Wirnik	72
	Pierścienie uszczel- niające wirnik:			Pierścienie uszczel- niające wirnik:	
	— górny	21		— górny	24
	— dolny	21		— dolny	24
	Łożyska toczne	32		Łożyska toczne	20
	Łożyska ślizgowe	18		Tuleje łożyska śliz- gowego	15
				Tulejka dystansowa	60
	Dławnica:			Tulejki amortyzują- ce śruby sprzęgieł	60
	— pierścienie sznu- rowe	6		Wał	60
	— pierścienie paten- towe	10		Uszczelnienie paten- towe wału	11
	Wał	18			
25 WOC	Korpus	45	40N – 165	Korpus	20
	Wirnik	50		Wirnik	18
	Pierścienie uszczel- niające wirnik			Pierścienie uszczelnia- jący wirnik	24
	— górny	22		Uszczelnienie dław- nic	24
	— dolny	22		Łożyska	18
	Łożyska toczne	30	65N – 210	Korpus	20
	Tulejka łożyska śliz- gowego	16		Wirnik	19
	Dławnica:			Pierścienie uszczel- niające wirnik	24
	— uszczelnienie sznurowe	6		Łożysko	24
	— uszczelnienie pa- tentowe	12	CA-25 firmy duń- skiej „Dant- hor”	Korpus	84
	Wał	20		Wirnik	84
100 WOC	Korpus	72		Pierścienie uszczel- niające wirnik	60
	Wirnik	72		Uszczelnienie dław- nic	24
	Pierścienie uszczel- niające wirnik			Łożyska toczne	60
	— górny	28	NCP 5-125 firmy szwaj- carskiej „Acid per- fecta”	Korpus	80
	— dolny	28		Wirnik	80
	Dławnica:			Pierścienie uszczel- niające wirnik	60
	— pierścienie paten- towe	27		Łożyska ślizgowe	48
	Łożyska toczne	32		Uszczelnienie dław- nic	24
	Tulejka łożyska śliz- gowego	16	Y 93961 firmy an- gielskiej Clarke- Built	Korpus	80
	Tulejka dystansowa	60		Wirnik	60
	Tulejki amortyzują- ce śruby sprzęgieł	60		Łożyska	60
	Wał	27		Pierścienie uszczel- niające wirnik	60
	Uszczelnienie paten- towe wału	21		Uszczelnienie dław- nic	24

— nieodpowiednie przeprowadzanie remontu (pompa po remoncie nie posiada właściwości zbliżonych do właściwości pompy nowej).

Proponuje się aby okresy międzyprzeglądowe były dostosowane do typu i wielkości pompy oraz rodzaju przepompowywanego czynnika i środowiska, w którym ona pracuje.

Literatura

- [1] *Metody statystyczne i sposoby ich wdrażania dla wyznaczania ilości części zamiennych maszyn i urządzeń okrętowych produkcji krajowej*. Politechnika Gdańska, Instytut Okrętowy 1970.
- [2] *Wprowadzenie w pojęcia i definicje niezawodności* — referat prof. dr inż. H. Markiewicza, wygłoszony na konferencji naukowej SIMP na temat „Niezawodność w budowie i eksploatacji statków”, 1970.

Lifetime of Impeller Pumps on Fishing Vessels

Summary

The method and conditions of collecting statistical informations on the reliability of impeller pumps installed on fishing vessels are described. The discrepancy between the first survey period as indicated by the manufacturer and the results of calculations based on statistical data is shown. Approximate data on the lifetime of more important parts of some impeller pumps of Polish make installed on fishing vessels are given. At the end a proposal is put forward that the reliability period of impeller pumps be determined by their manufacturers.

Живучесть роторных насосов на рыболовных судах

Резюме

В реферате описан метод и условия работы при сборе статистической информации на тему надежности роторных насосов, работающих на рыболовных судах. На основе собранных материалов и расчетов доказываются существование расхождений между периодом времени до первых осмотров, определяемым заводами-изготовителями, и периодом, вытекающим из расчетов, основанных на статистических данных. Определяется приближенная живучесть важнейших деталей некоторых роторных насосов отечественного производства, работающих на рыболовных судах. Реферат заключается выводом, касающимся определения периода надежности роторных насосов их изготовителями.