

Kazimierz STELLER, Marek TARGAN

Instytut Maszyn Przepływowych
Polska Akademia Nauk

NAPOWIETRZANIE PRZEPŁYwu Z KAWITACJĄ

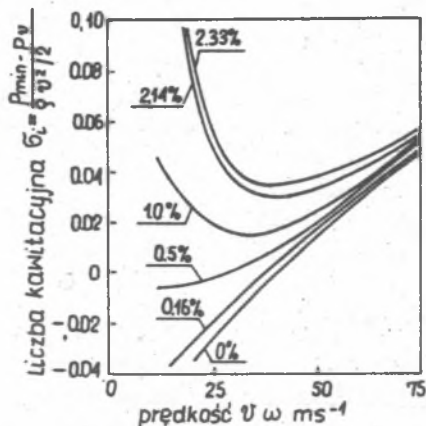
Streszczenie: Przedstawiono wyniki badań własnych nad ochroną maszyn hydraulicznych narażonych na działanie kawitacji. Omówiono rezultaty "przedmuchiwania" obszarów objętych kawitacją oraz zwrócono uwagę na warunki sprzyjające zmniejszeniu erozji kawitacyjnej hałasu i drgań ścianek ograniczających przepływ z kawitacją. Na zakończenie zaproponowano zastosowanie opisanej metody w maszynach osiowych narażonych na występowanie kawitacji szczelinowej.

1. Wprowadzenie

Gas zawarty w cieczy wywiera znaczący wpływ na zapoczątkowanie kawitacji. Wpływ ten uwidocznił na rysunku 1 [2,3]. Z przebiegu krzywych $\delta_i = f(v)$ należy wnosić, iż ze wzrostem zawartości powietrza w wodzie wzrasta wartość wyróżnika kawitacji początkowej δ_i i że wzrost ten

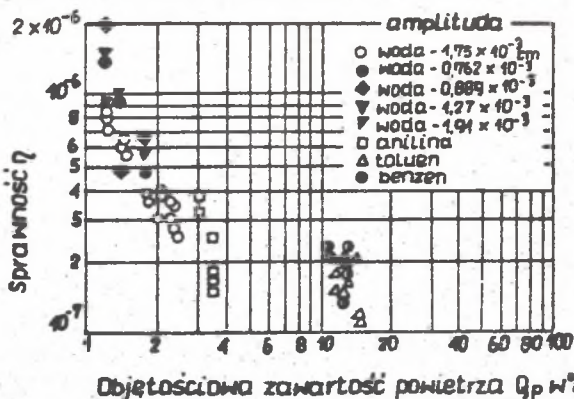
jest związany z prędkością przepływu wody v . Zmienne jest to, iż przy dużej ilości powietrza zawartego w wodzie wpływ prędkości v na wartość δ_i staje się mało znaczący bądź też nieokreślony.

Ogólnie należy stwierdzić, iż wolne i rozpuszczone gazy w cieczy określają przebieg kawitacji - ułatwiają jej powstawanie, wpływają na rozmiary pęcherzyków i przebieg ich implozji oraz na ich reaktywację ("rebound"). Ostatecznie gazy tłumią uderzenia hydrauliczne, osłabiają efekty wibroakustyczne i zmniejszają rozmiar erozji. Wpływ zawartości rozpuszczonego powietrza w cieczy na sprawność niszczenia^{*)} materiału wskutek kawitacji wibracyjnej ilustruje rysunek 2. (na podstawie [5]).



Rys.1. Zależność wyróżnika kawitacji początkowej od prędkości przepływu przy różnej zawartości powietrza w wodzie (według [2,3]).

*) Przez sprawność niszczenia rozumie się sprawność absorbowania energii przez materiał, określoną ilorazem energii pochłoniętej przez materiał



Rys.2. Wpływ zawartości powietrza w cieczy na sprawność niszczenia materiałów podczas kavitacji wibracyjnej (na podstawie [5]).

dział [1] na ogół wtedy, gdy ilość ta przekracza 2% objętościowego natężenia przepływającej cieczy. Przy takim zapowietrzeniu wody występują obok korzystnych zjawisk objawy negatywne. Przejawiają się one w postaci obniżenia sprawności przemian energetycznych oraz pogorszenia własności ssących maszyn.

Celem niniejszej pracy jest zwrócenie uwagi na bardziej skuteczny sposób osłabiania erozji kavitacyjnej, a mianowicie na "przedmuchiwanie" strefy objętej kavitacją. Przez przedmuchiwanie rozumie się doprowadzanie powietrza do miejsca na ścianie, do której przywarty jest obłok (pęcherz) kavitacyjny. Tego rodzaju "wentylacja" strefy kavitacyjnej powoduje sztuczne utworzenie pęcherza superkavitacyjnego, który jest oczywiście znacznie mniej groźny aniżeli kavitacja pęcherzykowa.

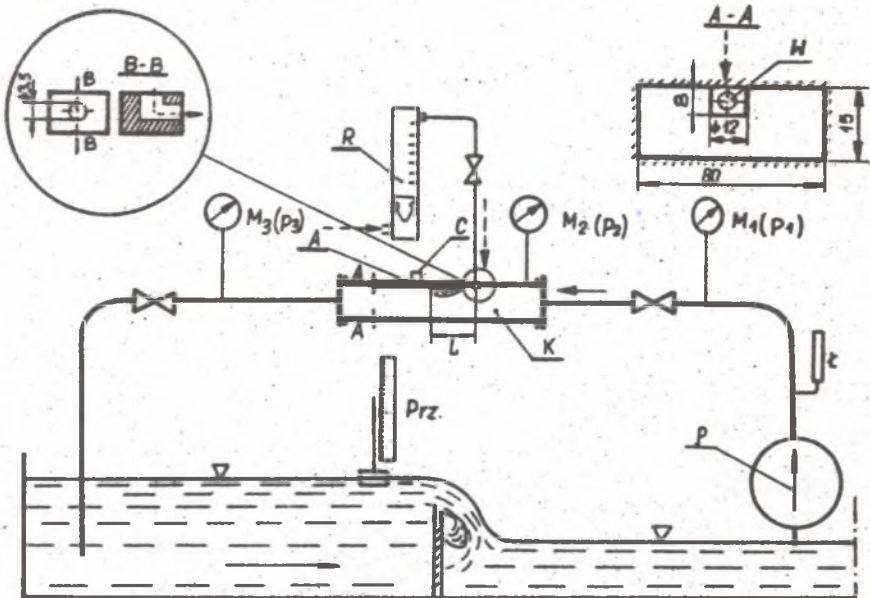
W pracy przedstawiono wyniki badań doświadczalnych nad kontrolowaną wentylacją strefy kavitacyjnej powstającej za przeszkodą w przepływie [4].

2. Stanowisko doświadczalne i przebieg badań

Badania przeprowadzono w laboratorium Instytutu Maszyn Przepływowych PAN w Gdańsku. Schemat stanowiska przedstawiono na rysunku 3. Jest to stanowisko kavitacyjne o obiegu otwartym wyposażone w pompę trójstopniową, zbiornik (kanał) wodny i komorę pomiarową o prostokątnej przekroju hydrometrycznym i wymiarach 80 mm x 15 mm. W górnej ścianie komory osadzony jest cylindryczny sworzeń o średnicy 12 mm, spełniający rolę wzbudnika

do energii przekazywanej materiałowi przez implodujące pęcherzyki kavitacyjne. Sprawność niszczenia η jest funkcją wielu argumentów, ale w pierwszym rzędzie zależy od wyróżnika kavitacji C i liczby Reynoldsa Re oraz od zawartości gazu w cieczy Q_p i rodzaju materiału.

W turbinach wodnych stosowane jest dość często napowietrzanie obszaru ssania celem obniżenia poziomu pulsacji ciałen i wibracji maszyn niedociążonych względnie przeciążonych. Ten sam zabieg stosuje się celem amortyzacji uderzeń hydraulicznych spowodowanych implozją pęcherzyków kavitacyjnych i zmniejszenia rozmiarów erozji kavitacyjnej. Znaczące zmniejszenie erozji występuje przy dużej zawartości powietrza w wo-



Rys.3. Schemat stanowiska badawczego. Oznaczenia: P-pompa wirowa, M_{1+3} - manometry, t- termometr, R-rotametr, C-czujnik piezoelektryczny, P_{rz} - przelew pomiarowy ze wskaźnikiem wysokości spiętrzenia wody, W-wzbudnik kavitacji, B-próbka materiału, K-komorą, \longrightarrow woda $-----$ powietrze.

kavitacji. Wzbudnik zaopatrzony jest w okrągły otwór przelotowy służący do przedmuchiwania strefy kavitacyjnej występującej w śladzie aerodynamicznym wzbudnika. Otwór we wzbudniku jest połączony z atmosferą za pośrednictwem rotametu mierzącego ilość zasysanego powietrza. Do regulacji przepływu powietrza służy zawór dławiaczy, natomiast do regulacji parametrów przepływu wody - zawory sterowane według wskazań przelewu Ponceleta i manometrów prężnych zainstalowanych przed i za komorą pomiarową.

W ściance komory, za wzbudnikiem, inkrustowana jest próbka materiału. Przejmuje ona impulsy ciśnienia pochodzące od implozji pęcherzyków kavitacyjnych. Jej stopień uszkodzenia zależy od warunków kavitacyjnych, określonych, przez parametry przepływu cieczy i wentylację obłoku kavitacyjnego.

Badania polegały na obserwacji przepływu objętego kavitacją oraz na pomiarze parametrów hydraulicznych i wibroakustycznych przy różnym stopniu napowietrzania (przedmuchiwania, wentylacji) strefy kavitacyjnej. Obserwowano także przebieg niszczenia próbki z ołowiu. Zmiany w przepływie oraz zmiany na próbce rejestrowano za pomocą fotografowania.

3. Wyniki badań

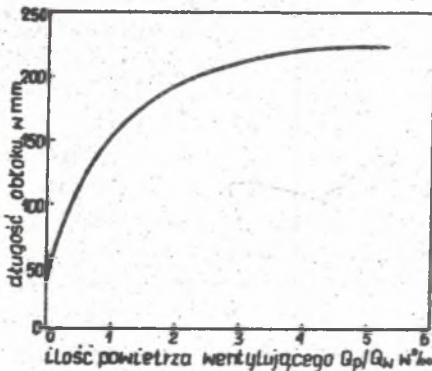
W tabeli 1 zamieszczono informacje liczbowe z jednej serii pomiarowej,

a na rysunku 4 i 5 krzywe ilustrujące wpływ powietrza "wentylującego" na rozmiar obłoku kawitacyjnego i niektóre zjawiska wibroakustyczne.

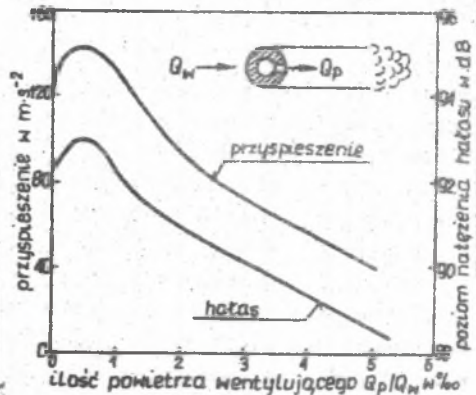
Pod wpływem napowietrzania strefy kawitacyjnej następowało rozrzedzenie ("rozmywanie") i wydłużanie obłoku kawitacyjnego (rys.4). Przebieg tego zjawiska zależał od ilości doprowadzanego powietrza; przy napowietrzaniu wynoszącym $Q_p/Q_w \approx 5\%$ od Q_p - objętościowe natężenie przepływu powietrza, Q_w - objętościowe natężenie przepływu wody) obłok kawitacyjny osiągał długość komory kawitacyjnej.

Tabela 1

P_1	P_2	P_3	v	σ	stanowisko powietrza	długość obłoku	poziom hałasu	przyspieszenie	erozja kawitacyjna
MPa	MPa	MPa	m/s	-	%	mm	dB	m/s ²	stan po 290s
0.706	0.154	0.325	28.4	0.630	0	57	92.6	128	duże zniszczenie
0.706	0.155	0.375	28.4	0.632	0.41	105	93.0	145	ślady erozji
0.696	0.153	0.373	28.4	0.627	0.82	132	91.7	130	brak śladów erozji
0.706	0.154	0.373	28.4	0.630	1.22	168	92.2	105	- " -
0.706	0.155	0.373	28.4	0.632	2.43	205	91.0	76	- " -
0.706	0.156	0.393	28.4	0.635	4.87	218	88.2	48	- " -



Rys.4. Zmiana długości obłoku kawitacyjnego w zależności od objętości powietrza "wentylującego".

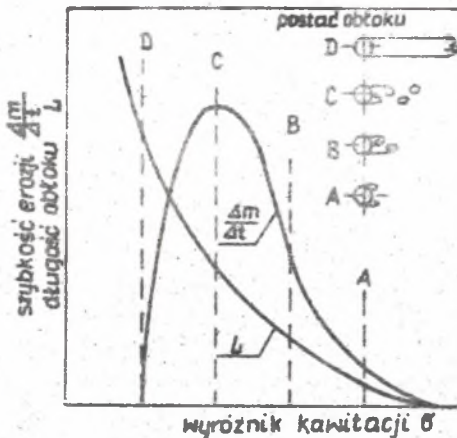


Rys.5. Wpływ ilości powietrza "wentylującego" strefę kawitacyjną na poziom niektórych zjawisk wibroakustycznych.

Jak wynika z tabeli 1 i rysunku 5, wentylacja strefy powodowała wyraźny spadek poziomu objawów wibroakustycznych. Przy doprowadzaniu powietrza w ilości $Q_p \approx 5\%$ od Q_w hałas obniżył się o 5 dB, a przyspieszenie ścianek komory pomiarowej zmalało prawie 3-krotnie (w porównaniu ze stanem bez wentylacji).

Rozrzedzenie i rozrost obłoku kawitacyjnego powodował także zmniejsze-

nie erozyjnej aktywności kavitacji. Ten fakt przedstawiono poglądowo na rysunku 6 (dokumentacja z badań zawiera fotografie próbek ukazujące przebieg erozji w zależności od wartości wyróżnika σ i ilości powietrza



Rys.6. Zależność długości obłoku oraz szybkości erozji od wyróżnika kavitacji σ .

zjawisk wibroakustycznych. Ze względu na stosunkowo małą ilość powietrza, wymagana do wentylacji stref kavitacyjnych, spadek sprawności przemian energetycznych jest mniejszy aniżeli podczas napowietrzania przepływu. Maksymalną ilość powietrza potrzebną do skutecznego przedmuchiwania strefy kavitacyjnej ocenia się na 2,5%. Ilość tę uznano za wystarczającą do wyeliminowania erozji i znacznego obniżenia poziomu hałasu i drgań.

Uzyskane wyniki wskazują na celowość podjęcia badań nad wykorzystaniem "wentylowania" stref kavitacyjnych w praktyce eksploatacyjnej maszyn hydraulicznych. Chodzi tu głównie o zastosowanie przedmuchiwania stref przy kavitacji szczelinowej, występującej przede wszystkim w pompach i turbinach wodnych o przepływie osiowym.

Literatura

- [1] P.H.Eisenberg, H.S.Preiser, A.Thiruvengadam:
On the Mechanisms of Cavitation Damage and Methods of Protection.
Trans.SNAME, Vol.73, 1965.
- [2] F.G.Hammitt, D.M.Ericson:
Einflüsse des Messtabes und das Gasgehaltes auf die Kavitation in einem Strömungssystem, Int.Symposium Pumpen und Verdichter, Berichtsband, VEB Kombinat Pumpen u. Verdichter, Leipzig, 1970.
- [3] F.G.Hammitt;
Cavitation and Multiphase Flow Phenomena, Mc Graw-Hill Inc., New York, ..., 1980.

"wentylującego" strefę kavitacyjną). Należy nadmienić, iż erozję zdołano wyeliminować wentylując strefę kavitacyjną stosunkowo małą ilością powietrza, tj. przy $Q_p/Q_w \approx 0.4\%$.

4. Wnioski końcowe

Przedmuchiwanie (wentylacja) strefy objętej kavitacją jest skutecznym zabiegiem zapobiegającym względnie zmniejszającym szkodliwe działanie kavitacji na otoczenie. W porównaniu z zapowietrzaniem przepływu, przedmuchiwanie strefy lepiej zapobiega erozji i wydatnie obniża poziom niepożądanych

[4] K.Steller, M.Targan:

Zapobieganie erozji kawitacyjnej przez przedmuchiwanie obszaru objętego kawitacją. Opracowanie IMP PAN, nr.arch. 134/82.

[5] A.Thiruvengadam:

On Modelling Cavitation Damage. Journal of Ship Research, September, 1969.

ВЕНТИЛЯЦИЯ ЗОНЫ ТЕЧЕНИЯ С КАВИТАЦИЕЙ

Р е з ю м е

Представлены результаты собственных исследований связанных с предохранением гидравлических машин против действия кавитации. Осуждаются результаты продувки зон охваченных кавитацией, а также обращается внимание на условия способствующие уменьшению кавитационной эрозии, шума и вибрации стенок ограничивающих течение с кавитацией. В заключении предлагается применение описанного метода для предохранения осевых гидравлических машин против действия целевой кавитации.

VENTILATION OF A CAVITATING FLOW

S u m m a r y

The paper presents research results on protection of hydraulic machinery against cavitation action. Results of cavitation zones ventilation are discussed. Attention is paid to the conditions favorable for diminishing cavitation erosion, noise and vibrations of walls limiting the cavitating flow. Finally, application of the described method for axial machines subject to slot cavitation is proposed.