

ZUŻYCIE KAWITACYJNE ELEMENTÓW UKŁADU PRZEPLYWOWEGO POZIOMYCH ZESPOŁÓW POMPOWYCH NISKIEGO CIŚNIENIA NA PRZYKŁADZIE STACJI WODOCIĄGOWEJ

CAVITATION WEAR PROCESS UNITS OF A FLOW SYSTEM OF HORIZONTAL LOW PRESSURE-PUMPS AGGREGATES IN A WATER-SUPPLY STATION

W pracy przedstawiono analizę procesów zużycia kawitacyjnego elementów układu przepływowego pomp wirowych jednostopniowych oraz propozycje dotyczące podwyższenia trwałości tych elementów. Analizę przeprowadzono w oparciu o dane eksploatacyjne poziomych zespołów pompowych niskiego ciśnienia pracujących na stacji wodociągowej. Artykuł zawiera także informacje na temat konstrukcji pomp wirowych jednostopniowych oraz zjawiska erozji kawitacyjnej elementów układu przepływowego pomp wirowych.

Słowa kluczowe: pompy wirowe, erozja kawitacyjna, kawitacja.

The paper presents the analysis of wear cavitation process units of a flow system of rotodynamic single-stage pumps and proposals relating to the rise of durability such units. The analysis was based on the service data of horizontal low pressure pumps aggregates working to the water-supply station. The article also contains basic information on the construction of rotodynamic single-stage pumps and cavitation erosion process units of a flow system of rotodynamic pumps.

Keywords: rotodynamic pumps (centrifugal pumps), cavitation erosion, cavitation.

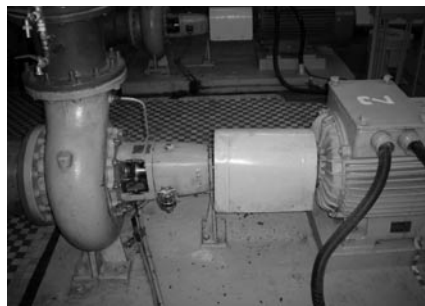
1. Budowa i zastosowanie pomp wirowych jednostopniowych poziomych typu A

Pompy są przeznaczone do przetłaczania cieczy czystych lub lekko zanieczyszczonych ciałami stałymi, wody pitnej, soków spożywczych i innych cieczy technologii spożywczych, niektórych produktów chemicznych i petrochemicznych oraz cieczy o podobnych właściwościach o temperaturze do 150°C. Typoszereg pomp A obejmuje pompy o wydajnościach od 5 do 1400 m³/h i wysokościach podnoszenia od 3 do 90 m [1,2].

Jednostopniowe poziome pompy odśrodkowe typu A, charakteryzują się prostą i zwartą budową. Pompa typu A jest wsparta na łapach, stanowiących integralną część jej spiralnego kadłuba. Poziomy króciec ssawny (wlotowy) leży w osi pompy, skierowany do góry króciec tłoczny (wylotowy) w płaszczyźnie pionowej przechodzącej przez oś pompy. Wirnik budowy zamkniętej ma na swej tylnej tarczy łopatki odciążające, zmniejszające siły wzdłużne oraz ciśnienie przed dławnicą. Poosiowe położenie wirnika na wale pompy ustala nakrętka wirnika zabezpieczona przed samoczynnym odkręceniem się (rys.1) [1].

2. Charakterystyka warunków pracy poziomych zespołów pompowych

Pompy wirowe jednostopniowe typu 25A32 wchodziły w skład układu pomp niskiego ciśnienia. Zespoły pompowe zamontowane na stacji wodociągowej do roku 2000 wchodziły w skład 3-stanowiskowego układu pomp niskiego ciśnienia, kiedy to zespół nr 3 został zdemontowany, a jego funkcję przejęły zespoły nr 1 i nr 2, które pracują w sposób ciągły przemienny do chwili obecnej. Nominalne parametry



Rys. 1. Pompa wirowa jednostopniowa pozioma 25A32

Fig. 1. The rotodynamic single-stage horizontal pump, type 25A32

try pracy obecnie eksploatowanych zespołów na 1 i nr 2 wynoszą: wydajność 800 m³/h oraz ciśnienie 0,21 MPa. Zmiana parametrów pracy pompy odbywa się za pomocą zasuw regulacyjnej zainstalowanej na rurociągu tłocznym przed zbiornikiem. Wydajność pompy ze względu na wydajności układu studni lewarowych wynosi 550 m³/h – pompa jest dławiona. Pompy pracują z napływem. Układ hydrauliczny jest odpowietrzany za pomocą układu pomp próżniowych typu PP4 pracujących w sposób ciągły przemienny. Wartość podciśnienia wytwarzanego przez pompy próżniowe waha się w granicach 80 ÷ 90 kPa.

W pierwszych latach eksploatacji nie stwierdzono większych uszkodzeń zespołów. Przy wykonywaniu przeglądów pomp dokonywano wymiany: szczeliwa dławnicy, amortyzatorów, pierścieni uszczelniających – elementów ulegających zużyciu podczas eksploatacji. Z większych awarii należy odnotować wymianę korpusu łożyskowego i łożysk w zespole nr 2 w marcu 1998 r. Niewielka awaryjność w pierwszym okresie eksploatacji wynikała głównie z mniejszego czasu pracy omawianych zespołów (względem pacy zespołu nr3) tabela 1. Sytuacja w zakresie awaryjności omawianych zespołów znacznie pogorszyła się z chwilą zdemontowania w roku 2000 zespołu nr 3. Wzrosła ilość godzin pracy zespołów nr 1 i nr 2, co wpłynęło na wydłużenie czasu ich eksploatacji oraz awaryjność. W roku następnym stwierdzono awarię zespołu nr1. Zakres remontu obejmował: wymianę łożysk, wymianę pierścieni uszczelniających, szlifowanie (regenerację) tulei ochronnej wału.

Tab. 1. Czas pracy poziomych zespołów pompowych w roku 1999

Tab. 1. Horizontal low pressure-pump aggregates working period in year 1999

Lp.	Numer zespołu	Czas pracy
1.	Zespół nr1 25A32	33 godz.
2.	Zespół nr2 25A32	777 godz.
3.	Zespół nr3 25A32	4705 godz.

Podczas przeglądu i konserwacji zespołu pompowego nr2, powierzchnię kanałów przepływowych wirnika wykonanego ze staliwa węglowego pompy pokryto materiałem regeneracyjnym (zabezpieczającym) kompozytowym Metal Belzona®. Celem tego zabiegu było zmniejszenie intensywności zużycia kawitacyjnego oraz erozyjnego wirnika. W następnym okresie wystąpiła awaria zespołu nr 2. Zakres remontu obejmował: wymianę wirnika pompy, wymianę łożysk, wymianę uszczelnienia, wymianę pierścieni uszczelniających.

Zastosowanie materiału regeneracyjnego (zabezpieczającego) nie przyniosło pożądanego efektu, naniesiona na powierzchnię wirnika powłoka uległa uszkodzeniu (rys.3).

3. Charakterystyka procesów zużycia – erozji kawitacyjnej układu przepływowego pomp wirowych

Typowym przypadkiem występowania zjawiska kawitacji w urządzeniach technicznych jest występowanie kawitacji w obszarze wlotu wirnika pompy wirowej. Krawędź wlotowa każdej łopatki porusza się z dużą prędkością powodując znaczny lokalny spadek ciśnienia cieczy dopływającej do kanałów wirnika. Występuje tu także miejscowy opór i duży oraz przyspieszony wzrost prędkości. Skutkiem powyższych zjawisk może być lokalne obniżenie ciśnienia do wartości ciśnienia krytycznego, nastąpi wówczas odparowanie cieczy. Pęcherzyki przemieszczają się wewnątrz kanału w obszar podwyższonego ciśnienia i ulegają zasklepieniu (implozji). W początkowym stadium kawitacji pękanie pęcherzyków parowo-gazowych kończy się w obrębie wirnika. Jeżeli kawitacja jest w pełni rozwinięta, to przeważająca liczba pęcherzyków imploduje w wirniku, a reszta unoszona jest poza obręb wirnika do kierownicy łopatkowej, a nawet do następnego stopnia pompy wielostopniowej (zależnie od prędkości przepływu). Tam dopiero następuje zapadanie się pęcherzyków kawitacyjnych i tworzenie wżerów kawitacyjnych. Opisanemu wyżej procesowi towarzyszą zjawiska mające charakter dynamiczny – zakłócenie pracy pompy związane ze zmianami parametrów energetycznych pompy, wzrost poziomu hałasu oraz drgań a w szczególności intensywne niszczenie powierzchni elementów [3,4].

Łopatki wirnika i kierownicy oraz powierzchnie wewnętrzne ścianek ograniczających ciecz przepływającą przez wnętrze pompy – stanowią układ przepływowy pompy. W przypadku pomp niszczenie elementów konstrukcyjnych części przepływowych i przewodów może być spowodowane trzema czynnikami:

- erozją; wywołaną głównie cząstkami stałymi w przepływającej cieczy,
- korozją; spowodowaną własnościami fizykochemicznymi cieczy i materiału pompy,
- kawitacją; wynikającą ze spadku ciśnienia poniżej ciśnienia krytycznego przy danej temperaturze.

Wymienione czynniki występują w czasie pracy pomp najczęściej łącznie w rzeczywistych warunkach pracy urządzenia. Zjawiskiem dominującym może być jeden z procesów. Powyższe trzy rodzaje uszkodzeń można dość łatwo rozróżnić na podstawie obserwacji makroskopowej uszkodzonych obszarów oraz ich umiejscowienia. Miejsca uszkodzone wskutek działania kawitacji przesunięte są nieco względem miejsca tworzenia się pęcherzy kawitacyjnych, w kierunku przepływu cieczy roboczej. Uszkodzenia wywołane kawitacją występują nie tylko na łopatkach, ale także na ściankach bocznych wirnika. Miejsca najniższego

ciśnienia znajdują się na tylnej ścianie łopatki w pobliżu krawędzi wlotowej, w miejscu tym następuje przyspieszony wzrost prędkości, co sprzyja powstawaniu zjawiska kawitacji. Uszkodzenia spowodowane erozją kawitacyjną możemy zaobserwować także na korpusach ssących i korpusach tłocznych pomp. Powstają one wskutek niewłaściwego doboru bądź uszkodzenia układu hydraulicznego – zbyt małej wysokości napływu lub zbyt dużej wysokości ssania [4,5,6].

O kawitacji występującej w pompie mogą świadczyć niżej wymienione zjawiska i procesy:

- zwiększony hałas i drgania spowodowane znacznymi pulsacjami ciśnień,
- obniżenia parametrów pracy pompy, zwłaszcza wysokości podnoszenia H, a nawet zerwanie ciągłości strugi i spadek wydajności do zera,
- zniszczenia spowodowane erozją kawitacyjną, będące najbardziej oczywistym dowodem występowania kawitacji w dostatecznie długim okresie czasu [7].

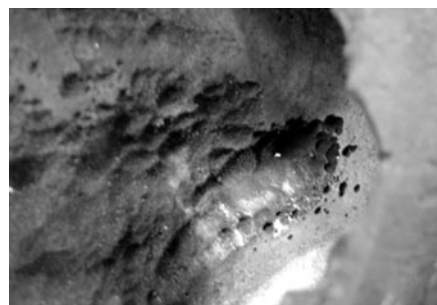
4. Analiza procesu zużycia oraz uszkodzeń układu przepływowego poziomych zespołów pompowych niskiego ciśnienia

Podczas eksploatacji zespołów pompowych dokonywano głównie wymiany elementów ulegających zużyciu w czasie prawidłowej pracy urządzenia. Zaliczamy do nich pierścienie uszczelniające (dociskające dławnicę), tuleje ochronną wału, pierścienie uszczelniające korpus łożyskowy oraz szczeliwo dławnicowe. Łożyska stanowiące układ łożyskowania pompy wymieniane były po założonym czasie ich użytkowania. Przeglądy były dokonywane, co sześć miesięcy. W ramach czynności związanych z przeglądem wykonywano ocenę stanu technicznego następujących elementów układu przepływowego: wirnika, pierścienia uszczelniającego. Powyższe czynności realizowano zgodnie z wytycznymi dotyczącymi eksploatacji zespołu zawartymi w DTR producenta.

Zmiana warunków eksploatacyjnych zespołów nr 1 i nr 2 związana przede wszystkim z wydłużeniem czasu pracy (zdemontowaniem zespołu nr 3) była bezpośrednią przyczyną przyspieszonego zużycia elementów i podzespołów urządzeń. Zakres remontów pomp obejmował wymianę lub regenerację elementów układu przepływowego, a w szczególności wirników, elementów układu łożyskowania oraz zespołu dławnicy (szczegółowy opis w rozdziale 2).

Najbardziej istotnym i kluczowym zagadnieniem w rozpatrywanym przypadku jest zużycie wirnika. Widoczne uszkodzenia krawędzi łopatek wlotowych oraz powierzchni kanałów przepływowych wirnika w charakterystycznej dla erozji kawitacyjnej formie wżerów wskazuje prawdopodobnie na występowanie kawitacji

w układzie pompowym (rys.2). Korpus pompy nie jest uszkodzony. Lokalizacja uszkodzeń jest typowa dla tego rodzaju zużycia, a wielość ubytku materiału pozwala na stwierdzenie, że erozja kawitacyjna jest dominującą formą zużycia danego elementu. Dodatkowym czynnikiem intensyfikującym zużycie wirnika może być także erozja widoczna na krawędziach łopatek wylotowych (rys.3). Można domniemywać, że występowanie zjawiska kawitacji generuje dodatkowe dynamiczne i nieustalone obciążenia łożysk pompy oraz zespołu dławnicy.



Rys. 2. Wżery kawitacyjne na powierzchni kanału przepływowego wirnika

Fig. 2. Cavitation pits on the impeller-flow channel surface

Zlokalizowanie wżerów i ubytków w obszarze wlotowym wirnika pompy wskazuje na umiejscowienie źródła powstawania pęcherzyków parowo-gazowych prawdopodobnie w rurociągu ssawnym. Pęcherzyki przemieszczając się w obszar wlotowy wirnika gdzie następuje lokalny wzrost prędkości cieczy wraz ze zmianą kierunku oraz silne jej zawrowanie. Następuje więc dynamiczny spadek ciśnienia co może spowodować początek zjawiska kawitacji, a w konsekwencji niszczenie krawędzi wlotowych łopatek wirnika oraz kanałów przepływowych. Zjawiskiem wtórnym w rozpatrywanym przypadku może być erozja wywołana cząstkami stałymi materiału wirnika powstałymi w skutek niszczenia powierzchni.

Rozważania oparte są tylko na podstawie obrazu zużycia elementów układu przepływowego pompy. Brak informacji na temat charakterystyk przepływu pompy (przy występowaniu kawitacji) nie pozwala na określenie stopnia rozwoju kawitacji oraz na podanie dokładnej przyczyny jej występowania.

5. Podsumowanie wyników, rozważań i propozycje poprawy trwałości elementów układu przepływowego pomp

Sposoby zapobiegające lub zmniejszające szkodliwe działanie kawitacji (erozję kawitacyjną) można podzielić na trzy grupy: konstrukcyjne, eksploatacyjne i ruchowe oraz materiałowe. W rozpatrywanym przypadku pracy

pomp wirowych jako pomp niskiego ciśnienia wodociągowej zakładając, że przyczyna powstawania pęcherzyków parowo-gazowych zlokalizowana jest w króćcu ssawnym pompy. Możliwe jest zastosowanie rozwiązań, które zaliczają się do powyżej wymienionych grup.

Zmiany konstrukcyjne układu przepływowego pompy mogą polegać na zastosowaniu wirnika dwustrumieniowego (o tej samej wydajności co pompa z wirnikiem jednostrumieniowym). Regulacja parametrów pracy zespołów pompowych może odbywać się przez regulację prędkości obrotowej wirnika za pomocą regulacyjnych układów tyrystorowych.

Układ pompowy można zmodyfikować stosując króciec redukcyjny skośny na rurociągu ssawnym. Eliminując tym samym niekorzystny układ geometryczny bezpośrednio przed króćcem ssącym pompy wirowej (rys.4).

Najbardziej skutecznym sposobem zminimalizowania działania kawitacji jest zastosowanie materia-



Rys. 3. Uszkodzenie kawitacyjne łopatki wirnika
Fig. 3. Cavitation damage on the impeller blade

łów odpornych na erozję kawitacyjną jako tworzyw konstrukcyjnych układu przepływowego pomp niskiego ciśnienia. Odpowiednimi materiałami konstrukcyjnymi pomp wydają się być materiały z grupy staliw nierdzewnych i kwasoodpornych oraz stopów miedzi – brązów i mosiądzów. Przy doborze materiału należy zwrócić jednak szczególną uwagę własności fizyko-chemiczne pompowanego medium, aby uniknąć niekorzystnego działania cieczy na materiał.

Zastosowanie optymalnego materiału zmniejszającego szkodliwe działanie kawitacji wydaje się najbardziej prawdopodobnym sposobem rozwiązania problemu, ze względu na koszty oraz krótki czas realizacji.



Rys. 4. Zmiana przekroju przewodu ssawnego umiejscowionym bezpośrednio przed króćcem ssawnym pompy

Fig. 4. The change of the suction pipe intersection placed directly before the pump suction body

6. Literatura

- [1] Pompy wirowe jednostopniowe poziome typu A. WAFAPOMP S.A. 2003.
- [2] Agregat pompy wirowej typu A. Dokumentacja Techniczno-Ruchowa Nr 1789. Warszawska Fabryka Pomp im. A. Kowalskiego.
- [3] Świtalski P.: *Słownik Pomp i Pompowni – Kawitacja*. Pompy Pompownie nr 4 (54), Kwiecień 1997.
- [4] Łazarkiewicz S., Troskolewski T.: *Pompy wirowe*. WNT, Warszawa, 1973.
- [5] Korczak A.: *Kawitacja i erozja kawitacyjna w pompie wirowej*. Pompy Pompownie nr 4 (78), Kwiecień 1999.
- [6] Koziej A.: *Proces erozji kawitacyjnej elementów układu przepływowego pomp wirowych*. Materiały konferencyjne II Sympozjum Doktoranckie „Współczesne technologie w budowie maszyn” Kazimierz Dolny 2003.
- [7] Jędrał W.: *Pompy wirowe*. WNT, Warszawa 2001.

Mgr inż. Adam KOZIEJ

Katedra Inżynierii Materiałowej

Politechnika Lubelska

ul. Nadbystrzycka 36, 20-618 Lublin

e-mail: adam.koziej.@mpwik.lublin.pl
