ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1977

Seria: Energetyka z. 62 Nr kol. 533

Maciej ZARZYCKI, Jerzy GRYCHOWSKI,
Hubert DUDEK, Henryk KOŁODZIEJ

ANALIZA ZAGADNIENIA POMP ZASILAJĄCYCH DLA BLOKÓW ENERGETYCZNYCH ORAZ PROJEKTY TECHNICZNE POMP

Streszczenie: W pracy przedstawiono zagadnienie konstrukcji i eksploatacji pomp zasilających kocioł parowy. Omówiono kryteria doboru liczby i parametrów pomp zasilających blok energetyczny. Na podstawie dotychczasowych doświadczeń z eksploatacji pomp zasilających blok energetyczny 200 MW opracowano analizę tendencji rozwojowych w konstrukcji pomp zasilających. Na zakończenie podano przykłady konstrukcji dwu pomp zasilających.

1. Wstęp

Przedmiotem pracy jest zwrócenie uwagi na problem pomp zasilających kotły parowe związane z wprowadzeniem do energetyki krajowej coraz większych bloków w oparciu o doświadczenia nabyte przy projektowaniu i konstruowaniu głównie stosowanych bloków 200 MW.

Mając na uwadze zagadnienie pompowe bloków energetycznych 200 MW dokonano analizy występujących w nim pomp zasilających. Opierając się na kryteriach konstrukcyjnych, technologicznych i eksploatacyjnych jakim powinny odpowiadać współczesne pompy zasilające kotły parowe opracowano kilka rozwiązań konstrukcyjnych tych pomp, z których przykładowo omówiono dwie konstrukcje, oraz ustalono wytyczne dalszego ukierunkowania prac nad konstrukcjami pomp.

Nowoczesna elektrownia składa się z kilku jednostek wytwórczych - bloków energetycznych, które charakteryzują się tymi samymi wielkościami: mocą elektryczną oraz dodatkowo wartościami parametrów czynnika jak ciśnienie i temperatura w punktach charakterystycznych obiegu.

W skali światowej (około 90%) czynnych obecnie elektrowni i elektrociepłowni stanowią elektrownie cieplne spalające konwencjonalne paliwo stałe, ciekłe i gazowe. Na podstawie zasobów energetycznych oraz bilansów paliwowo-energetycznych w kraju struktura wytwarzania energii elektrycznej na lata 1975 do 1985 będzie w dalszym ciągu oparta głównie na wykorzystaniu paliwa stałego - węgla kamiennego i węgla brunatnego. Udział węgla kamiennego w produkcji energii elektrycznej w roku 1975 i 1985 będzie się kształtował procentowo odpowiednio 66,7% oraz 57% natomiast udział węgla brunatnego - 27,1% oraz 33,5%. Udział zużycia węgla kamiennego na produkcję

energii elektrycznej w jego rocznym wydobyciu będzie odpowiednio wynosić 16,9% i 22,2%. Lata 1980 przyniosą rozwój energetyki jądrowej i tak udział paliwa rozszczepialnego w produkcji energii elektrycznej w 1985 r. powinien wynosić 5%. Nastąpi również dalszy rozwój elektrowni wodnych, głównie pomopwo-szczytowych. Udział elektrowni szczytowych na paliwa gazowe i ciekłe będzie nieznaczny.

2. Kryteria eksploatacyjne doboru pomp

Układ zasilania wodą kotła powinien być w zasadzie w każdym obiekcie indywidualnie analizowany. W zależności od typu elektrowni (kondensacyjna czy elektrociepłownia) stosowany jest układ blokowy lub układ kolektorowy. W nowoczesnych elektrowniach kondensacyjnych jest to z reguły układ blokowy. Ponadto układ instalacji pomp zasilających zależy od dysponowanej wysokości napływu, konstrukcji układu wodnego podgrzewaczy, możliwości pracy pompy w stanach nieustalonych i sposobu regulacji parametrów.

Ważnym wskaźnikiem przy doborze liczby i parametrów pracy pomp jest tzw. dyspozycyjność układu zasilania, oznaczająca prawdopodobieństwo pracy bloku przynajmniej z jedną pompą zasilającą. Dalszymi wskaźnikami doboru układu zasilania są koszty inwestycyjne oraz koszty wyprodukowania energii elektrycznej zastępczej dla pokrycia niedoborów przy częściowym obciążeniu bloku. Na podstawie określonych wartości podanych wskaźników można przeprowadzić analizę ekonomiczną w celu określenia wariantu optymalnego.

Obecnie stosowane są między innymi następujące układy zasilania kotłów wyposażone w pompy zasilające główne i rezerwowe: 3 x 50% wydajności bloku, 2 x 50%, 2 x 100% i 1 x 100% + 1 x 50%. Możliwe są również i inne kombinacje np. 1 x 100% + 2 x 50% lub 1 x 100% + 2 x 30% itp. Układy, w których całkowita wydajność pomp w przypadku awarii jednej z pomp pozwala na dalszą pracę układu z pełnym obciążeniem (np. 3 x 50%) są układami drogimi inwestycyjnie i eksploatacyjnie. W miarę jednak doskonalenia konstrukcji pomp, coraz większej ich niezawodności działania (wyższa wartość współczynnika dyspozycyjności pojedynczej pompy), większej elastyczności pracy (krótszy czas rozruchu) oraz znacznego skrócenia okresu remontu, zastosowanie znajdują układy typu 1 x 100% + 1 x 50% (elektrownia Stenungsund, 275 MW, Szwecja). W układach tego typu ze względu na dużą pewność działania układu stosuje się rezerwę o wydajności mniejszej od wydajności pompy zasilającej głównej.

Charakterystyki przepływu pomp zasilających powinny być ponadto stabilne a ciśnienie na króćcu tłocznym przy wydajności pompy bliskiej zeru nie może przekroczyć wartości dopuszczalnej, ze względu na wytrzymałość elementów znajdujących się za pompą. Przy współpracy kilku pomp połączonych równolegle oraz przy regulacji szybkości obrotowej korzystne są charakterystyki bardziej strome.

Ze względu na możliwość szybkiego nagrzewania się pompy, należy zabezpieczyć również minimalną dopuszczalną wydajność określoną przez dostawcę pomp. Bardzo ważną sprawą jest również zagwarantowanie pracy pompy bez występowania kawitacji. Szczególnie trudne warunki mogą wystąpić z powodu spadku ciśnienia w odgazowywaczu przy nagłym zrzucie obciążenia. Dlatego w niektórych układach stosuje się pompy wspomagające na dopływie do pompy zasilającej głównej.

3. Tendencje rozwoju konstrukcji pomp zasilających kotły

Szybki postęp w budowie coraz większych siłowni ma decydujący wpływ na rozwój charakterystycznych cech konstrukcyjnych pomp zasilających kotły parowe. W siłowniach instaluje się urządzenia o coraz większej mocy. Moce generatorów wzrastają od mocy w zakresie 200 MW do 500 MW do mocy rzędu od 700 MW do 1300 MW [1]. Planuje się, że po roku 2000 postęp w metalurgii i metodach konstruowania oraz wytwarzania pozwoli na budowę pomp zasilających kotły współpracujące z generatorami o mocy 2000 MW. Pompy te napędzane byłyby turbinami o mocy około 50 MW z szybkością obrotową rzędu 8000 min^{-1}. Od pracujących urządzeń w tym również od pompy wymaga się nie tylko wysokiej sprawności ale również dużej niezawodności działania i krótkich okresów postoju. Postęp w budowie elektrowni przejawia się również w zmianach schematów obiegu czynnika, a tym samym pompy mogą pracować w różnym układzie co powoduje również zmianę cech konstrukcyjnych pompy. Dlatego pompy ostatniej generacji budowane są w ten sposób, żeby w żadnym punkcie charakterystyki pompy nie doszło do zetknięcia się elementów wirujących oraz nieruchomych nawet gdy pompa pracuje w parze lub na "sucho". Pompy projektuje się również w ten sposób, aby możliwie szybko można było wymienić zużyte elementy pompy oraz jeżeli elektrownia posiada kilka zespołów pompowych, elementy wewnętrzne pomp można było stosować do remontu dowolnego zespołu pompowego.

Zmiany jakie wprowadza się do konstrukcji pomp zasilających oraz problemy jakie należy rozwiązać, najlepiej omówić na przykładzie poszczególnych elementów pompy.

3.1. Kadłub i śruby ściągające

Obecnie budowane są pompy wirowe do zasilania kotłów parowych z następującymi kadłubami: kadłubem członowym dzielonym w płaszczyznach prostopadłych do osi pompy, kadłubem dzielonym w płaszczyźnie poziomej przechodzącej przez oś pompy i kadłubem niedzielonym (jednolitym). Pompy budowane z kadłubem dzielonym w płaszczyźnie poziomej stosowane są w układach, w których ciśnienie nie przekracza 100 barów [2]. Kadłuby członowe są odlewane lub wykonywane jako odlewy o stosunkowo małej grubości ściany dodatkowo wzmocnione pierścieniami [3]. Stosuje się również pompy z kadłu-

bem członowym podzielonym na część nisko i wysokościśnieniową [3]. Generacja pomp zasilających z kadłubem jednolitym dzieli się również na kilka odmian konstrukcyjnych w zależności od sposobu kompensacji luzów wewnętrznych, jak również od tego czy elementy wewnętrzne tworzą zespół, który można w całości wysuwać podczas remontu jednostki.

O typie stosowanego kadłuba decydują, oprócz ciśnienia wewnętrznego, naprężenia termiczne. Dlatego kadłuby członowe stosuje się głównie, gdy temperatura czynnika nie przekracza 150°C, natomiast w zakresie temperatur od 150 do 260°C i więcej stosowane są kadłuby jednolite. Są to zwykle kadłuby odkuwane ze stali. Postęp w technice odlewania umożliwia stosowanie również jednolitych kadłubów odlewanych. Koszt kadłuba odlewanego łącznie z wykonaniem modelu jest o 12% mniejszy od kosztu wykonania kadłuba kutego dla tej samej pompy. Gdy model jest wykorzystany do wykonania większej liczby odlewów, koszt wykonania może się zmniejszyć przy 4 odlewach do około 30% [4]. Ponadto kadłub odlewany można konstruować bardziej prawidłowo pod względem właściwego wykorzystania własności wytrzymałościowych tworzywa konstrukcyjnego.

Projektując kadłub należy również uwzględnić obciążenia pochodzące od układu rurociągów, oddziaływanie pokryw kadłuba i różnice rozszerzalności cieplnej w różnych punktach kadłuba w stanach nieustalonych.

Jak wynika z parametrów pracy w różnych punktach obiegu czynnika w elektrowni kadłuby pomp pracują w szczególnie trudnych warunkach. Przykładowo analiza dla bloku 100 MW wykazuje [1], że różnica temperatur po obu stronach ściany walczaka w kotle wynosi około 55°C, natomiast w pompie może wynosić do 155°C. W stanach nieustalonych uderzenie termiczne w pompie osiąga wartość 550°C/min, a w walczaku około 27°C/min. Ciśnienie i temperatura wynoszą odpowiednio dla walczaka 110 barów i 320°C, a dla pompy od 140 do 190 barów i od 236 do 271°C. Ponadto konstrukcja pompy powinna zapewnić zachowanie w czasie pracy pompy wzajemnego przesunięcia elementów pompy nie przekraczającego setnych milimetra. Aby sprostać tym wymaganiom ostatnie generacje pompy zasilających wyposażone są w kadłuby jednolite o dużej symetrii kadłuba względem głównych płaszczyzn. W stanach nieustalonych, gdy temperatura szybko się zmienia, naprężenia w kadłubach są utrzymywane w dopuszczalnym zakresie przez stosowanie tak ukształtowanego kadłuba w obrębie dopływu do pompy, by działał on jako element sprężysty. Wszystkie powierzchnie uszczelniające oraz omywane wodą przepływającą z dużą prędkością są zabezpieczone powłokami z nierdzewnej stali austenitycznej. W procesie produkcyjnym zwraca się uwagę, aby obszary koncentracji naprężeń były wolne od wad materiałowych.

Bardzo ważnym zagadnieniem jest zagadnienie konstrukcji śrub ściągających. W śrubach ściągających należy wywołać wstępne naprężenie, aby uzyskać szczelność poszczególnych członów kadłuba. Równocześnie wydłużenia kadłuba pod wpływem zmian temperatury wodą mogą spowodować odkształcenia plastyczne tworzywa kadłuba i jego trwałą deformację. Dlatego bardzo waż-

ny jest wybór tworzywa na śruby ściągające pod względem wytrzymałościowym, jednorodności struktury, wydłużeń cieplnych w stosunku do wydłużeń kadłuba, jak również wybór cech geometrycznych śrub ściągających. Należy pamiętać, że zarówno przy nagrzewaniu pompy, jak również przy ochładzaniu pompy, temperatura śrub ściągających różni się od temperatury ścian kadłuba oraz, że temperatura górnej części kadłuba może się różnić od temperatury dolnej części [5, 2]. Z tych powodów zdecydowaną przewagę wykazują pompy z kadłubami jednolitymi i pokrywami po stronie tłocznej. Od kilku lat zakłady "Weir Pumps Limited" stosują odkształcalny sprężyście pierścień zastępujący śruby mocujące pokrywę [6, 7]. Do napinania śrub stosuje się siłowniki hydrauliczne lub nagrzewnice elektryczne.

3.2. Zespół wirujący

Dążenie do uzyskania coraz bardziej zwartych i niezawodnych pomp powoduje, że obserwuje się tendencję do zmniejszenia liczby stopni i konstrukcji krótkich o stosunkowo dużej średnicy wałów. Wał powinien mieć niską strzałkę ugięcia oraz wirować z szybkością obrotową mniejszą od szybkości obrotowej krytycznej pierwszego rzędu.

Doświadczenia wykazały, że można uzyskać z jednego wirnika przy stosunkowo wysokiej sprawności wysokości podnoszenia do 1200 m. Konstrukcja pompy o tak dużych obciążeniach stopnia wymaga zachowania dostatecznej odległości pomiędzy wirnikiem i krawędzią dopływową łopatek kierownicy ze względu na erozyjne działanie strumienia cieczy o dużej prędkości przepływu oraz odpowiedniej wysokości napływu, aby uniknąć zjawiska kawitacji. Optymalne wartości bezwymiarowego wyróżnika szybkobieżności dla wirników osadzonych na wałach o dużych średnicach wynoszą około 100 [8], praktycznie konstruuje się wirniki w zakresie n_{sf} od 70 do 100.

Aby uzyskać duże obciążenie stopnia i stąd małą liczbę stopni, pompy napędzane są silnikami wysokoobrotowymi lub przez przekładnie. Niektóre układy energetyczne na statkach wyposażone są w pompy pracujące przy szybkości obrotowej 12000 min^{-1} [2].

Ze względu na duży moment przenoszony przez połączenie wału z wirnikiem stosuje się dwa wpusty, przy czym każda kolejna para wpustów jest przestawiona o 90°. W nowszej generacji pomp obserwuje się przejście do osadzania wirników za pomocą połączenia wielowpustowego o ewolwentowym zarysie zęba. Część piasty wirnika osadzona jest na gorąco na wale z pewnym zaciskiem, aby zapobiec penetracji cieczy w szczelinie pomiędzy piastą i wałem, oraz zapewnić współosiowość połączenia. Siły osiowe przenoszone są za pośrednictwem półpierścieni. Piasta posiada również odpowiednie wytoczenie dla stworzenia bariery cieplnej podczas nakładania i zdejmowania wirnika za pomocą palników gazowych.

W pompach wysokoobrotowych występują w kanale dyfuzora podczas pracy pompy oscylacje ciśnienia o małej amplitudzie lecz dużej częstotliwości. Oscylacje te powodują hałaśliwą pracę pompy. Aby zmniejszyć poziom hałasu

stosuje się większe szczeliny promieniowe pomiędzy wirnikiem i łopatkami kierownicy oraz buduje wirniki o takiej liczbie łopatek, aby była to liczba pierwsza w stosunku do liczby łopatek dyfuzora. Ważny jest również właściwy wybór tworzyw konstrukcyjnych na wirniki i wał. Tworzywo konstrukcyjne (staliwo chromowe) powinno się charakteryzować wysoką odpornością na korozję i erozję oraz odpowiednimi współczynnikami rozszerzalności cieplnej, aby nie wystąpiło luzowanie pasowania wirnika na wale.

Badania statystyczne wykazują, że awarie pomp zdarzają się w 74,3% z powodu układu odciążenia, w 16,7% z powodu wału, z powodu kadłuba i łożysk odpowiednio 7,7% oraz 1,3% [8]. Dlatego obserwuje się tendencje do eliminowania luzów osiowych w pompach, powiększenia luzów promieniowych i zabezpieczenia odpowiedniej sztywności wału.

Zlikwidowanie luzów osiowych wymaga przejścia od tarcz odciążających od bębnów odciążających. Tarcza odciążająca jest dobrym rozwiązaniem w pompach, gdy nie istnieje obawa, że przy niskim ciśnieniu cieczy na ssaniu może wystąpić odparowanie wody wypływającej ze szczeliny pomiędzy tarczą i przeciwtarczą i pracą tarczy na "sucho". Dlatego w ostatniej generacji pomp zasilających stosuje się bębny odciążające, a zwiększone w tym przypadku przecieki cieczy częściowo ogranicza się stosowaniem na współpracujących powierzchniach spiralnych rowków. Oprócz wzrostu przecieków wzrastają również straty mechaniczne. Zastosowanie jednak bębna odciążającego (około 90% przejmowanego naporu osiowego) i łożyska z wahliwymi płytkami (około 10% przyjmowanego naporu osiowego) pozwala na bezawaryjną pracę pompy na "sucho". Średnicę bębna dobiera się tak, aby w całym zakresie pracy pompy w wale występowały naprężenia rozciągające.

3.3. Dławnice i łożyska

Ponieważ wzrastają stosowane w pompach szybkości obrotowe oraz średnice wału, jak również ciśnienia działające na uszczelnienie wału, warunki pracy uszczelnień są coraz trudniejsze. Aby polepszyć warunki pracy uszczelnień stosuje się tuleje dławiące przed dławnicą oraz doprowadzenie do dławnicy zimnej wody. Ma to również na celu zmniejszenie temperatury przecieku. Równolegle dla mniejszych jednostek stosowane są dławnice ze szczeliwem miękkim oraz z uszczelnieniem mechanicznym [9]. Dla nowszej generacji pomp zastosowano uszczelnienie wału za pomocą pierścieni pływających. Pierścienie pływające mogą pracować przy znacznie mniejszych luzach. Wykonane z hartowanej stali nierdzewnej (około 17% Cr, 4% Ni) współpracują z tuleją pokrytą twardą powłoką chromową dogładzaną do głębokości R_a = 0,0002 mm.

W konstrukcji dławnic panuje tendencja do konstruowania dławnic o małych wymiarach osiowych (dla maksymalnego skrócenia długości wału) rozbudowanych jeśli potrzeba w kierunku promieniowym. Niektórzy wytwórcy stosują dodatkowe zaciskające się uszczelnienie, które w przypadku postoju pompy znacznie ogranicza przepływ wody.

Konstruując łożyska pompy zasilającej należy uniknąć jego przegrzania oraz zjawiska wirowania oleju. Dlatego w nowszych konstrukcjach stosuje się łożyska o małej długości (zapewniające odpowiednie wartości upływów bocznych) i zwiększone luzy. W niektórych przypadkach należy stosować łożyska o specjalnej konstrukcji panewki [10]. Panewka tego typu tłumi wirowanie oleju.

Przy projektowaniu kadłubów łożyskowych zwraca się również uwagę na częstotliwość drgań własnych kadłubów łożyskowych i ich sztywność, aby nie dopuścić do obniżenia szybkości obrotowej krytycznej wału. Ostatnio zrezygnowano już z konstrukcji pompy zasilającej, której kadłuby łożyskowe są zamocowane osobno na ramie fundamentowej lecz przymocowane do kadłuba pompy. W ten sposób wydłużenia cieplne kadłuba w mniejszym stopniu wpływają na zmianę położenia zespołu wirującego względem kadłuba pompy.

3.4. Rama fundamentowa

Bardzo ważnym, niekiedy podczas konstrukcji niedocenianym elementem zespołu pompowego jest rama fundamentowa. Obciążenie ramy fundamentowej jest bardzo złożone. Na ramę fundamentową działają siły pochodzące od ciężaru pompy, wynikające z oddziaływania rurociągów oraz sił tarcia podczas przesuwania się łap kadłuba względem ramy pod wpływem rozszerzalności cieplnej. Rama fundamentowa musi wykazywać dostateczną sztywność, aby zachować współosiowość zespołu; pompa, sprzęgło, silnik. Jednocześnie zamocowanie powinno umożliwić swobodne wydłużenie się pompy w kierunku wzdłużnym i promieniowym. W tym celu projektuje się: poprzeczne i wzdłużne wpusty, łapy kadłuba pompy w płaszczyźnie poziomej przechodzącej przez oś kadłuba oraz jak najbardziej symetryczny kadłub pompy w obu głównych płaszczyznach. Aby zmniejszyć siły tarcia należy zapewnić odpowiednie smarowanie przesuwających się powierzchni.

Ponieważ ramy fundamentowe również mogą się rozszerzać pod wpływem nagrzewania, stosuje się w pompach pompujących wodę powyżej 150°C wodne chłodzenie ramy fundamentowej.

Ramy fundamentowe wykonuje się z blach stalowych spawanych, a następnie przed obróbką poddaje wyżarzaniu odprężającemu. Ostatnio wykonuje się również posadowienie pompy żelbetonowe ze stalowymi płytkami w miejscu osadzenia łap pompy i wpustów centrujących.

4. Przykłady rozwiązań konstrukcyjnych pomp wirowych zasilających kotły parowe

W oparciu o przeprowadzoną analizę współcześnie budowanych pomp wirowych do zasilania kotłów parowych dla bloków 200 MW i większych, w Instytucie Maszyn i Urządzeń Energetycznych Politechniki Śląskiej opracowano kilka projektów technicznych pomp zasilających. Prace te mogą służyć jako

studia konstrukcyjne. Dwie spośród powyższych konstrukcji przedstawiono poniżej.

4.1. Pompa wirowa do zasilania kotłów parowych z kadłubem członowym

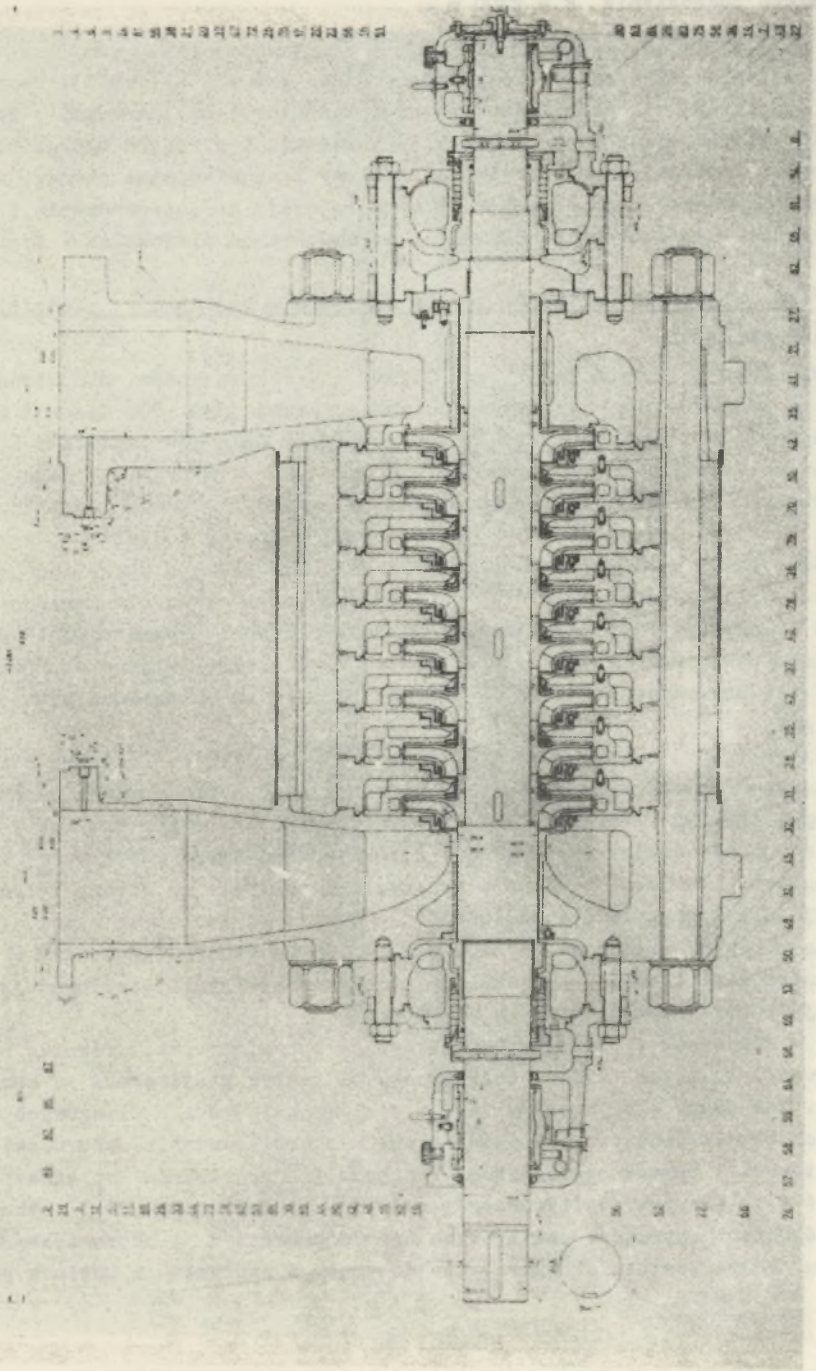
Zaprojektowana maszyna jest pompą wirową odśrodkową ośmiostopniową w układzie poziomym z wirnikami jednostrumieniowymi (rys. 1). Ciecz z wirników odprowadzona jest za pomocą kierownic łopatkowych o wypływie bocznym. Kierownice odśrodkowe wykonane są w jednej całości z kierownicami dośrodkowymi (nawrotnymi). Kadłub pompy jest dzielony w płaszczyznach prostopadłych do osi podłużnej pompy (członowej) i składa się z członu doprowadzającego, członów stopniowych i członu tłocznego. Poszczególne części kadłuba ściągnięte są za pomocą dwunastu śrub umieszczonych na zewnątrz kadłuba pompy. Jedna ze śrub ściągających przechodzi przez króciec dopływowy i tłoczny, które są skierowane prostopadle ku górze. Szczelność pomiędzy poszczególnymi członami kadłuba zapewniona jest przez doszlifowanie nie współpracujących powierzchni.

Podpory (łapy) pompy odlane są łącznie z członem dopływowym i tłocznym i znajdują się w płaszczyźnie przechodzącej przez oś poziomą pompy. Kadłub pompy okryty jest osłoną wykonaną z blachy stalowej, pod którą znajduje się odpowiednia warstwa izolacyjna (materac).

Wał pompy wyprowadzony jest z kadłuba pompy poprzez dławnice z uszczelnieniem elastycznym. W dławnicach umieszczono zamki hydrauliczne, do których doprowadza się wodę w celu chłodzenia i uszczelnienia dławnic. Również w czasie chłodzenia woda doprowadzona jest do dławików. Wał w miejscach przejścia przez dławnice chroniony jest wymiennymi tulejami. Chłodzona obudowa dławnicy po stronie dopływowej pompy połączona jest z kadłubem doprowadzającym, a chłodzona obudowa po stronie tłocznej umocowana jest wraz z obudową tarczy odciążającej z kadłubem tłocznym.

W celu zabezpieczenia łożysk przed ewentualnym dostaniem się wody na wale przewidziano oprócz uszczelnień odrzutniki. Wał pompy ułożyskowany jest w wahliwych łożyskach ślizgowych smarowanych olejem. Olej jest chłodzony. Dla zrównoważenia naporu osiowego zastosowano tarczę odciążającą, której stopień zużycia jest określany za pomocą wskaźnika przesuwu wzdłużnego wału. Pompy mają specjalne króćce służące do pobierania cieczy na wtryski do schładzania pary oraz do połączenia pompy z zaworem minimalnego przepływu sterowanym automatycznie. Zawór powyższy zabezpiecza pompę przed "zaparowaniem" (zatarciem) podczas pracy z wydajnością mniejszą od minimalnej na jaką pompa została zaprojektowana. Na kołnierzach króćców doprowadzającego i tłocznego znajdują się nalewy z nawwintowanymi otworami służącymi do umieszczenia manometrów.

W najniższych miejscach kadłubów umieszczone są nawwintowane otwory do opróżnienia pompy z cieczy w przypadku jej zatrzymania i odstawienia. Pompa została zaprojektowana do pracy z napływem na następujące parametry:



Rys. 1. Pompa zasilająca kocioł parowy z kadłubem członowym

- wydajność $Q = 400\ m^3/h$
- wysokość podnoszenia $H = 2200\ m$
- prędkość obrotowa $n = 4600\ min^{-1}$.

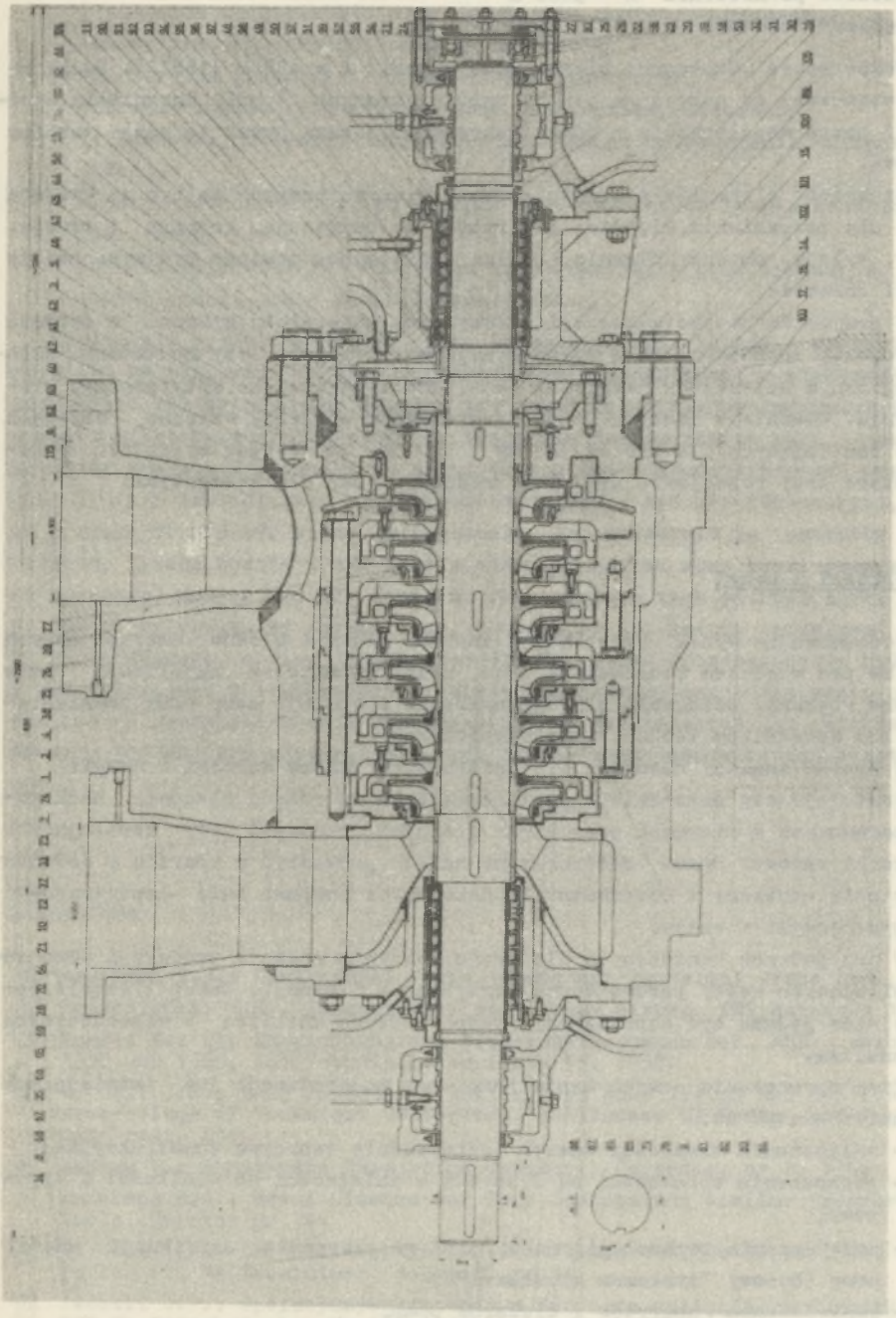
Temperatura pompowanej cieczy może wynosić $t = 433^oK$ (160^oC). Pompy mogą być napędzane silnikami elektrycznymi bądź turbinami parowymi bezpośrednio lub pośrednio poprzez przekładnię zębatą i sprzęgło hydrokinetyczne. Ponadto przewidziano odpowiednie nadlewy i nagwintowane otwory do odprowadzenia cieczy z obudowy tarczy odciążającej, do doprowadzenia i odprowadzenia wody chłodzącej dławnice, do umocowania olejowskazów itp.

4.2. Pompa wirowa do zasilania kotłów parowych z kadłubem niedzielonym (jednolitym)

Pompę zaprojektowano jako pompę wirową odśrodkową sześciostopniową w układzie poziomym z wirnikami jednostrumieniowymi (rys. 2). Ciecz z wirników odprowadzana jest do kierownic odśrodkowych odlanych łącznie z kierownicami dośrodkowymi (nawrotnymi) rozwiązanymi konstrukcyjnie podobnie jak w poprzednio przedstawionej pompie. Kadłub pompy niedzielony (jednolity), w którym umieszczono jak gdyby kompletną pompę z kadłubem członowym. Szczelność pomiędzy poszczególnymi członami kadłuba wewnętrznego zapewniono przez zastosowanie śrub ściągających oraz przez ciśnienie hydrauliczne działające między ścianami kadłuba a członami. Poszczególne współpracujące powierzchnie uszczelniające są doszlifowane. Króćce doprowadzający i tłoczny są przyspawane do kadłuba pompy i są skierowane prostopadle ku górze.

Podpory (łapy) służące do ustawienia pompy na płycie fundamentowej są umieszczone w płaszczyźnie poziomej przechodzącej przez poziomą oś podłużną pompy. Łapy są związane z kadłubem pompy. Kadłub pompy zamknięty jest z obu stron odpowiednimi pokrywami. W pokrywie od strony dopływowej umieszczona jest chłodzona obudowa dławnicy, a w pokrywie od strony tłocznej znajduje się komora tarczy odciążającej. Komora ta zamknięta jest zewnętrzną pokrywą, w której znajduje się chłodzona obudowa dławnicy. W pompie zastosowano dławnice z pierścieniami samonastawnymi współpracującymi z tuleją pokrytą twardą powłoką chromową.

Wał w miejscach przejścia przez dławnice chroniony jest również przed wycieraniem za pomocą tuleji ochronnych. Do pokryw przykręcone są konsole łożysk. Wał pompy ułożyskowany jest w wahliwych łożyskach ślizgowych smarowanych olejem obiegowo pod ciśnieniem. Dla zrównoważenia naporu osiowego zastosowano tarczę odciążającą. Podobnie jak poprzednio opisana pompa również i ta maszyna posiada szereg nadlewów z nagwintowanymi otworami dla podłączeń przyrządów pomiarowych oraz doprowadzeń i odprowadzeń wody i oleju. Pompa została skonstruowana do pracy z napływem i posiada parametry:



Rys. 2. Pompa zasilająca kocioł parowy z kadłubem jednolitym

- wydajność $Q = 1035\ m^3/h$
- wysokość podnoszenia $H = 3400\ m$
- prędkość obrotowa $n = 5115\ min^{-1}$.

Temperatura pompowanej cieczy może wynosić $t = 438^oK$ (165^oC). Pompy są przystosowane do napędu za pomocą turbin parowych. W celu uniknięcia kawitacji pompa współpracuje z pompą wstępną napędzaną przez tę samą turbinę parową.

Większość elementów w obydwu przedstawionych pompach ma być ze staliwa LH14 dla zapewnienia większej odporności na kawitację, korozję i erozję. Wały, tuleje, obudowy dławnic, tarcze odciążające powinny być wykonane ze stali chromowej.

W przypadku podjęcia decyzji budowy pomp należałoby wykonać w oparciu o projekty techniczne całą dokumentację warsztatową. Przy opracowaniu technologicznym należałoby uwzględnić możliwości wykonawcze wytypowanego producenta. Obecnie w Instytucie są opracowywane projekty wstępne dalszych pomp zasilających dla bloków 360 MW i 500 MW, które będą mogły być wykorzystane przy rozwijaniu krajowej produkcji pomp dla energetyki.

5. Wnioski i uwagi

Podsumowując wyniki przeglądu i analizy głównie bloków energetycznych 200 MW pod względem stosowanych pomp, można ustalić na najbliższe lata główne kierunki działania dla usprawnienia produkcji pomp oraz podniesienia ich wskaźników techniczno-ekonomicznych.

W wyniku analizy nasuwają się następujące główne wnioski i uwagi:

1. Postuluje się położenie większego nacisku na rozwój placówek naukowo-badawczych w kierunku poszukiwań własnych rozwiązań pomp zasilających kotły parowe. Prace konstrukcyjne należy prowadzić w oparciu o doświadczenia uzyskane z dotychczas produkowanymi pompami bądź importowanymi pracującymi w kraju.
2. W przypadkach koniecznych dla przyspieszenia rozwoju produkcji pomp zasilających kotły parowe można korzystać z licencji. Zakup licencji powinien jednak być poprzedzony przeprowadzoną wnikliwą i wszechstronną analizą.
3. Przy opracowaniu nowych typów pomp oraz modernizacji już istniejących należy dążyć do:
   - zwiększenia trwałości maszyn (odpowiednie tworzywa konstrukcyjne),
   - podnoszenia sprawności od 2 do 10% w zależności od wielkości i typów pomp,
   - podwyższenia technologiczności oraz rozszerzenia unifikacji części pomp (budowy "systemem klockowym"),
   - zmniejszenia gabarytów i ciężarów pomp,
   - normalizacji wymiarów gabarytowych pomp oraz podłączeń

- poprawienia szczelności dławnic zwłaszcza przy wyższych ciśnieniach i cieczach mechanicznie oraz chemicznie zanieczyszczonych,
- zmniejszenia podatności pomp na kawitację,
- zwiększenia pewności i niezawodności ruchu pomp,
- łatwości montażu i demontażu pomp oraz wymiany elementów,
- zwiększenia gotowości zespołów pompowych do uruchamiania (dyspozycyjności),
- zabezpieczenia wszystkich wymogów BHP dotyczących bezpieczeństwa, hałasu, drgań itp.,
- podniesienia estetyki rozwiązań konstrukcyjnych oraz wykonania,
- automatyzacji pracy zespołów pompowych.

Rozważania przeprowadzone w pracy dotyczą głównie bloków energetycznych 200 MW ponieważ dotychczas podstawowymi jednostkami w elektrowniach były bloki 120 MW oraz 200 MW. One też dostarczają krajowi największą ilość energii elektrycznej. Jednostki te stają się już jednak za małe, jak na potrzeby kraju i w stosunku do najbliższych zadań inwestycyjnych. Szacuje się, że za 5 lat odbiorcy potrzebować będą około 140 mld kWh energii, czyli o około 50 mld kWh więcej niż obecnie. Aby zaspokoić te potrzeby odbiorców, trzeba będzie w tym czasie oddać do użytku nowe bloki energetyczne o łącznej mocy 11000 MW. Ponieważ dla pokrycia tych potrzeb bloki o mocy 200 MW byłyby mniej ekonomiczne, dlatego trzeba będzie instalować bloki coraz większe, a więc 360 MW oraz 500 MW, które będą tańsze w budowie i korzystniejsze w eksploatacji. Należy więc szybko zakończyć prace zmierzające do przeanalizowania zagadnienia pomp zasilających dla bloków 360 MW oraz 500 MW, aby zapewnić dla tych bloków pompy odpowiednich konstrukcji.

LITERATURA

[1] Anderson H.H.: Centrifugal Pumps, Trade and Technical Press Ltd., 1973.

[2] Troskolański A.T., Łazarkiewicz Sz.: Pompy wirowe, WNT, Warszawa 1973.

[3] Honold E.: Die Entwicklung von Kesselspeisepumpen bei KSB zwischen 1935 und 1968, KSB Technische Berichte 15, 1958.

[4] Mc Coll I.R.: Some Aspects of Boiler Feed Pump Design and Application, Proceedings of Technical Conference, publisched by Trade and Technical Press, Ltd.

[5] Najman V.: Konstrukce Napájecich Čerpadel, Čerpadla, nr 3, 1966.

[6] Anderson H.H.: Novel Closure For Pump Casings and Similar Pressure Vessels, Reprint nr 34.

[7] Mc Coll I.R., Leith T.O., Ryall M.L.: Advanced-Class Boiler Feed Pumps For 660 MW Generators, Reprint, nr 44.

[8] Pedotti G.P.: Speisepumpenkonzeption für eine optimale Verfügbarkeit, VGB Kraftwerkstechn. Nr 54, 1974.

[9] Arkless G.F.: Development of High - Pressure Boiler Feed Pumps In Britain During The Last Decade, Reprint nr 39.

[10] Karassik I., Carter R.: Centrifugal Pumps, Mc Graw-Hill Book Company, New York, 1960.

АНАЛИЗ НАСОСНОЙ ПРОБЛЕМЫ ДЛЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ БЛОКОВ
И ТЕХНИЧЕСКИЕ ПРОЕКТЫ ПОДАЮЩИХ НАСОСОВ ПАРОВЫХ КОТЛОВ

Р е з ю м е

В работе представлены проблемы конструкции и эксплуатации насосов подающих в паровый котел. Рассмотрены критерия подбора чисел и параметров насосов подающих в энергетический блок. На основе проведенных до сих пор опытов по эксплуатации насосов подающих в энергетический блок 200 МВ был разработан анализ тенденций развития конструкции подающих насосов.

В заключении подано примеры конструкции двух подающих насосов.

ANALYSIS OF PUMPS FOR POWER UNITS AND TECHNICAL PROJECTS
OF PUMPS FEEDING STEAM BOILERS

S u m m a r y

The paper presents some aspects of construction and exploitation of pumps feeding steam boilers. Criteria of parameters and numbers of pumps feeding power units have been discussed. On the basis of previous experiences from exploitation of pumps feeding a power unit of 200 MW an analysis of the tendencies developing in the construction of feeding pumps has been given.

Examples of the construction of two feeding pumps have been given at the end of the paper.