



Modernizacja węzłów uszczelniających pomp ropy naftowej

Modernization of the sealing nodes of the crude oil pumps

Andrzej BŁASZCZYK, Dariusz KOWALEWSKI, Dariusz WOŹNIAK, Mariusz NAWROCKI

¹ P.B.W. „Hydro-Pomp” Sp. z o.o., ul. Wróblewskiego 19, 93-578 Łódź, email: hydropomp@hydropomp.com.pl

STRESZCZENIE

W artykule przedstawiono projekt techniczny modernizacji węzłów uszczelniających pomp zatłaczających/wyłaczających ropę naftową z kawern solnych.

Przed modernizacją uszczelnień, w trakcie eksploatacji pomp, występował problem niedostatecznego chłodzenia cieczy buforowej. Jej temperatura w systemie termosyfonowym przekraczała dopuszczalną przez producenta pomp temperaturę 90°C, co skutkowało wyłączeniem pomp. Spowodowana przez to przerwa w dostawie ropy naftowej skutkowałą zmniejszeniem rezerw produkcyjnych, a nawet zatrzymaniem pracy instalacji w zakładach petrochemicznych.

W celu obniżenia temperatury pracy cieczy buforowej pomp do temperatury poniżej 90°C rozbudowano istniejący układ termosyfonowy. Rozbudowa dotyczyła zastosowania chłodnicy powietrznej oleju. Do wymuszenia obiegu cieczy buforowej przez chłodnicę zastosowano pompę cyrkulacyjną. Dobór wentylatora powietrza oraz pompy cyrkulacyjnej cieczy buforowej wymagał przeprowadzenia obliczeń termodynamicznych systemów uszczelnienia pomp.

Słowa kluczowe: modernizacja, pompa, ropa, zatłaczanie/wyłaczanie, kawerny solne

ABSTRACT

The article presents a technical project for the modernization of sealing nodes for pumps injecting/extruding crude oil from salt caverns.

Before the modernization of the seals, during pump operation, there was a problem of insufficient cooling of the buffer liquid. Its temperature in the thermosiphon system exceeded the temperature allowed by the pump manufacturer 90°C, which resulted in switching off the pumps. The resulting

interruption in the supply of crude oil resulted in a decrease in production reserves and even the stopping of the installation in petrochemical plants.

In order to reduce the operating temperature of the buffer liquid pump to temperatures below 90°C, the existing thermosiphon system has been extended. The extension concerned the use of an oil fan cooler. A circulating pump was used to force the circulation of the buffer fluid through the cooler. The selection of an air fan and a circulating pump for the buffer liquid required thermodynamic calculations of the pump sealing systems.

Key words: modernization, pump, crude oil, injection/extrusion, salt caverns

WPROWADZENIE

W artykule opisano modernizację systemu chłodzenia uszczelnień mechanicznych zrealizowaną przez firmę P.B.W. HYDRO-POMP Łódź. System chłodzenia uszczelnień mechanicznych zabudowany był w jednostopniowych dwustrumieniowych pompach transportujących ropę naftową z kawern solnych i do kawern solnych. System chłodzenia przed modernizacją charakteryzował się temperaturą cieczy buforowej przekraczającą dopuszczalną przez producenta pompy temperaturę 90°C.

Przyczyną wysokiej temperatury cieczy buforowej była niewystarczająca wymiana ciepła między zbiornikiem termosyfonowym i chłodzącym go powietrzem oraz brak możliwości zabudowy układu wody chłodzącej np. węzłownicz wewnątrz zbiornika.

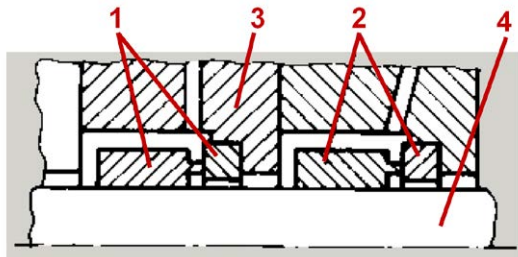
Ropa naftowa jest cieczą łatwopalną, a jej pary tworzą z powietrzem mieszaniny wybuchowe już w temperaturze pokojowej. W zmodernizowanym systemie chłodzenia wyko-

rzystane zostały urządzenia przystosowane do pracy w strefie zagrożenia wybuchem: grupa wybuchowości II A, klasa temperaturowa T3.

Zmodernizowany system chłodzenia spełnia również warunki dotyczące wymaganego ciśnienia cieczy buforowej wynoszącego 100 bar, mogącego wystąpić podczas awarii uszczelnienia.

OPIS ISTNIEJĄCEGO SYSTEMU CHŁODZENIA

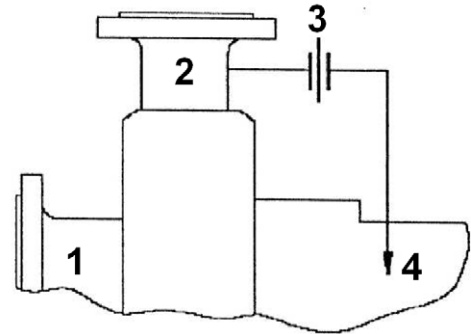
System chłodzenia, który poddano modernizacji charakteryzuje się podwójnymi uszczelnieniami mechanicznymi, które pracowały w układzie *face to back* (zwanym również tandem ze względu na wzajemne ustawienie pierścieni par ciernych) przedstawionym na Ryc. 1. Jako ciecz buforową wykorzystywano olej mineralny o klasie lepkości ISO VG 10.



Ryc. 1. Schemat uszczelnienia mechanicznego typu *face to back* (Burgmann, 2004), 1- para cierna wewnętrzna (od strony pompy), 2- para cierna zewnętrzna (od strony atmosfery), 3- korpus uszczelnienia, 4- wał pompy

Fig. 1. Diagram of the face to back mechanical seal (Burgmann, 2004), inboard seal (pump side), 2- outboard seal (atmospheric side), 3- seal casing, 4- pump shaft

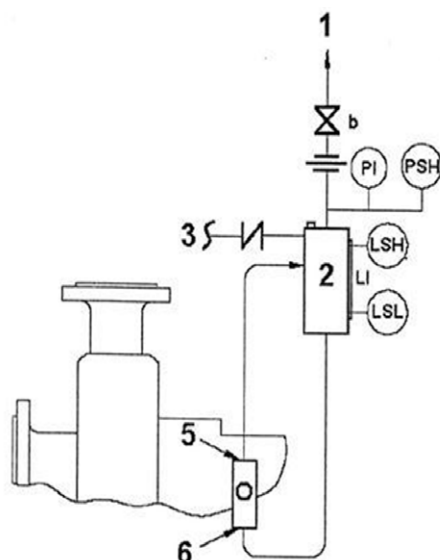
Stosowany do czasu modernizacji układ chłodzenia opierał się na konstrukcjach opisanych w normach PN-EN ISO 21049:2010 i API 682, dotyczących uszczelnień mechanicznych dla pomp, a w szczególności na planach o numerach 11 i 52.



Ryc. 2. Schemat planu 11 (PN-EN ISO 21049:2010), 1- króciec ssawny pompy, 2- króciec tłoczny pompy, 3- zwężka sterowania przepływem, 4- doprowadzenie do komory uszczelnienia cieczy buforowej

Fig. 2. Diagram of the plan 11 (PN-EN ISO 21049:2010) pump suction flange 2- pump discharge flange, 3- flow control orifice, 4- supply of the buffer liquid to the seal chamber

Rozwiązanie konstrukcyjne według planu 11 (Ryc. 2) obejmuje recyrkulację medium z króćca tłoczno pompy przez zwężkę sterowania przepływem (kryza) do uszczelnienia. Zapewnia ono przepływ przez komorę uszczelnienia i chłodzenie powierzchni współpracy pary cierniej uszczelnienia mechanicznego.

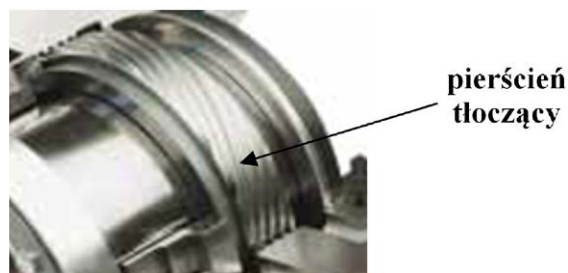


Ryc. 3. Schemat planu 52 (PN-EN ISO 21049:2010): 1- do systemu zbiorczego, 2- zbiornik, 3- podłączenie płynu buforowego, 4- płyn spłukujący, 5- wylot cieczy buforowej, 6- wlot cieczy buforowej, 7- komora uszczelnienia, 8- pierścień tłoczny, LSH- wyłącznik wysokiego poziomu, LSL- wyłącznik niskiego poziomu, LI- wskaźnik poziomu, PI- wskaźnik ciśnienia, PSH- wyłącznik wysokiego ciśnienia

Fig. 3. Diagram of the plan 52 (PN-EN ISO 21049:2010), 1- to the collecting system, 2- tank, 3- connection of buffer fluid, 4- flushing fluid, 5- buffer liquid outlet, 6- buffer liquid inlet, 7- seal chamber, 8- pumping screw, LSH- high-level switch, LSL- low-level switch, LI- level indicator, PI- pressure indicator, PSH- high pressure switch

Plan 52 (Ryc. 3) dla podwójnych uszczelnień mechanicznych uwzględnia zastosowanie zewnętrznego zbiornika, będącego zasobnikiem cieczy buforowej. Cyrkulacja, w tym układzie w warunkach pracy, wymuszona jest przez wewnętrzny pierścień tłoczący, który znajduje się pomiędzy parami ciernymi na wale (Ryc. 3 poz. 8, Ryc. 4), ale także na przepływie grawitacyjnym ze zbiornika i efekcie termosyfonowym podczas postoju w gorącej rezerwie.

W rozpatrywanym przypadku zbiornik był zbiornikiem beciśnieniowym, otwartym do atmosfery.



Ryc. 4. Przykładowe uszczelnienie z zabudowanym wewnątrz pierścieniem tłoczącym (Burgmann, 2004)

Fig. 4. Exemplary seal with built-in pumping screw (Burgmann, 2004)

Producent uszczelnienia, w celu polepszenia wymiany ciepła wewnątrz uszczelnienia przed modernizacją, zastosował rowkowania na pierścieniach wirujących każdej z dwóch par ciernych, będące rozwinięciem stosowanych w uszczelnieniach mechanicznych gazowych np. w sprężarkach (Ryc. 5).

Rowki typu V i U mają za zadanie zwiększyć ciśnienie gazu pomiędzy czołami uszczelnienia i odsunąć je, gwarantując ich bezkontaktową pracę.

Zastosowanie rozwiązania przedstawionego na Ryc. 6 w uszczelnieniach przedmiotowych pomp nie przyniosło jed-

nak pożądanego efektu (obniżenia temperatury cieczy buforowej), stąd konieczność przeprowadzenia modernizacji opisanej poniżej.

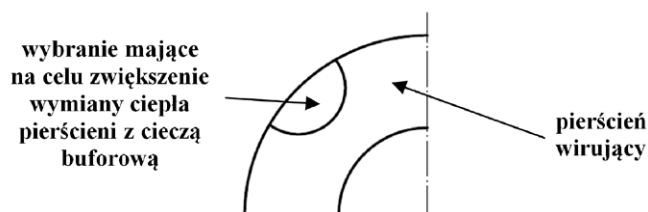
NOWE ROZWIĄZANIE KONSTRUKCYJNE UKŁADU CHŁODZENIA

Projekt nowego rozwiązania na stanowiskach pracy pomp uwzględniał adaptację istniejących przyłączy (pozostawiono oryginalny system termosyfonowy) oraz zaprojektowano niezbędne instalacje pomocnicze.

W celu spełnienia wymagania dotyczącego obniżenia temperatury cieczy buforowej w układzie wbudowano pompę wymuszającą jej przepływ (Ryc. 7 poz. 4), uwzględnioną w planie chłodzenia uszczelnienia o numerze 55 według (PN-EN ISO 21049:2010).

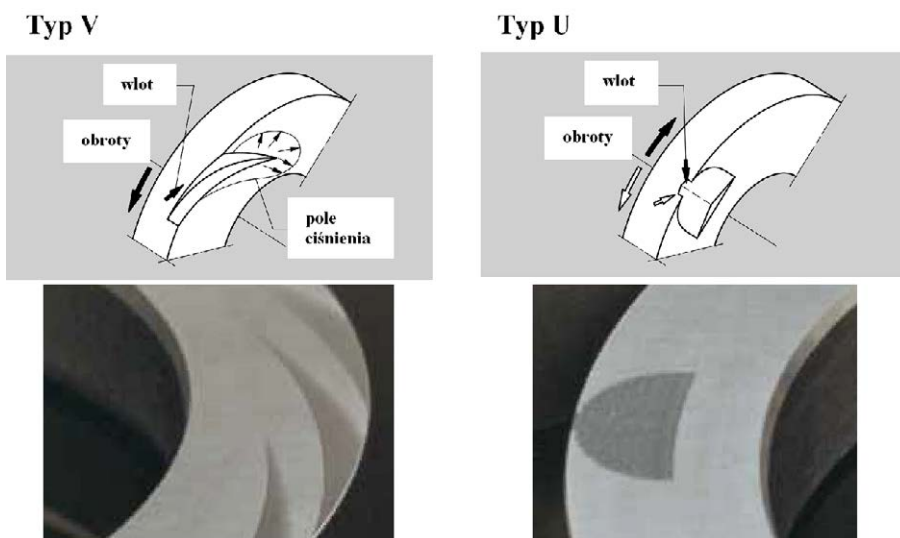
Ponadto, dla obniżenia temperatury pracy cieczy buforowej pomp ropy naftowej do temperatury poniżej 90°C, zaprojektowano rozbudowę istniejącego układu termosyfonowego o oddzielną chłodnicę oleju z wymuszonym obiegiem powietrza przez wentylator napędzany silnikiem elektrycznym (Ryc. 7 poz. 5).

W opisanym rozwiązaniu w celu pokonania oporów przepływu oleju w zastosowanej chłodnicy, konieczne było wy-



Ryc. 6. Koncepcja zastosowanych rowków w uszczelnieniach pompy

Fig. 6. The concept of the grooves used in pump seals

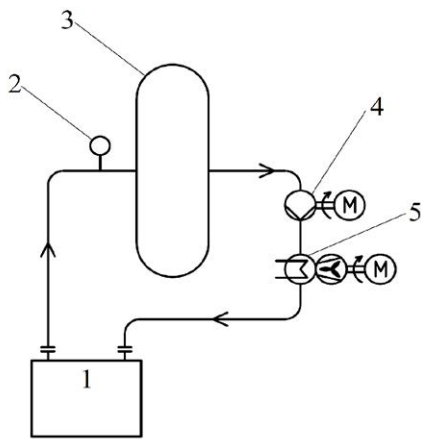


Ryc. 5. Koncepcja i wykonanie rowków w uszczelnieniach gazowych (Burgmann, 2004)

Fig. 5. Concept and execution of grooves in gas seals (Burgmann, 2004)

korzystanie dodatkowej pompy cyrkulacyjnej napędzanej silnikiem elektrycznym (Ryc. 7 poz. 4). Zastosowano pompę gwintową firmy Burgmann z silnikiem o mocy 0,55 kW, przeznaczoną do pracy w układach chłodzenia uszczelnień mechanicznych, zapewniającą przepływ czynnika chłodzącego wynoszący około 0.7 m³/h (Ryc. 8). Dobór pompy oraz chłodnicy wentylatorowej wymagał przeprowadzenia obliczeń termodynamicznych bilansów ciepła wytworzonego przez parę cierną i odprowadzonego przez olej.

Schemat ideowy proponowanego rozwiązania technicznego zamieszczono na Ryc. 7.



Ryc. 7. Schemat ideowy proponowanego rozwiązania:

- 1- uszczelnienie mechaniczne pompy, 2- miejsce pomiaru temperatury cieczy buforowej, 3- oryginalny system termosyfonowy, 4- pompa cyrkulacyjna z silnikiem elektrycznym, 5- chłodnica cieczy buforowej z wymuszonym obiegiem powietrza przez wentylator napędzany silnikiem elektrycznym

Fig. 7. Schematic diagram of the proposed solution: 1- mechanical seal of the pump, 2- place of temperature measurement of buffer liquid, 3- original thermosiphon system, 4- circulation pump with electric motor, 5- cooler of the buffer liquid with forced air circulation by a fan driven by an electric motor

W tym rozwiązaniu ciśnienie cieczy buforowej pomiędzy dwoma parami uszczelnień jest utrzymywane na mniejszym poziomie niż wymagane ciśnienie w komorze uszczelnienia i mniejszym niż 2.8 bar (API 682 4TH EDITION, 2014).



Ryc. 8. Widok pompy typu HPS firmy Burgmann i jej elementów tłoczących (Burgmann, 2004): 1- widok pompy, 2- wirnik, 3- stator

Fig. 8. View of the HPS pump by Burgmann and its delivery elements (Burgmann, 2004): 1- pump view, 2- rotor, 3- stator

Zastosowana wentylatorowa chłodnica cieczy buforowej firmy As-Technik (Ryc. 9) charakteryzowała się następującymi parametrami:

- moc cieplna 9,3 kW,
- moc silnika 0,55 kW.



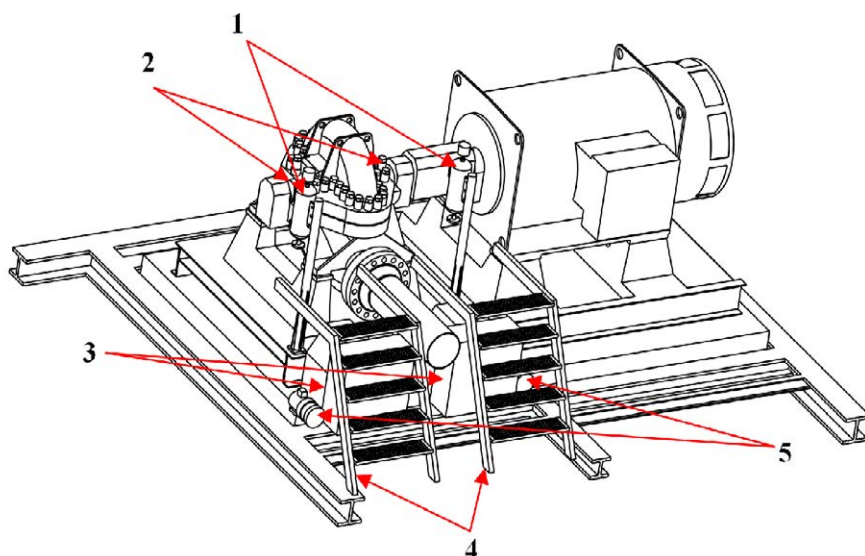
Ryc. 9. Widok chłodnicy wentylatorowej firmy AS-Technik
Fig. 9. View of the fan cooler of the AS-Technik company

Dodatkowe urządzenia dla każdego uszczelnienia (Ryc. 7 poz. 4 i 5) zostały zamontowane na specjalnie zaprojektowanym stelażu, w niewielkiej odległości od przedmiotowego uszczelnienia. Przewidziano montaż chłodnic w miejscu obecnie istniejących schodków. W związku z tym zaprojektowano nowe, demontowalne podesty, które pozwalają na obsługę dotychczasowych urządzeń oraz na zamontowanie pod nimi nowo projektowanych elementów instalacji (Ryc. 10 poz. 3).

Na Ryc. 11 kolorem czerwonym oznaczono przewody rurowe doprowadzające ciecz buforową o wysokiej temperaturze (ze zbiornika termosyfonowego do pompy cyrkulacyjnej), a kolorem niebieskim wylot z chłodnicy wentylatorowej do wlotu do komory uszczelnienia. Wylot z pompy połączono z usytuowaną obok niej chłodnicą - przewody koloru zielonego. Chodnice oraz rurociągi doprowadzające ciecz buforową do komory uszczelnień posiadają zawór odpowietrzający (Ryc. 11 poz. 1) w najwyższym punkcie, a także zawory odcinające (Ryc. 11 poz. 2) umożliwiające demontaż pomp i chłodnic oraz zawory spustowe (Ryc. 11 poz. 3) w chłodnicach.

W przypadku niskiej temperatury otoczenia (poniżej 0°C) istnieje możliwość zdalnego wyłączenia silnika wentylatora i zmniejszenia, odbieranego przez dodatkowy układ chłodzenia, ciepła. Pompa cyrkulacyjna ze względu na większe opory przepływu cieczy buforowej (dłuższe przewody rurowe, zabudowana chłodnica) musi cały czas pracować.

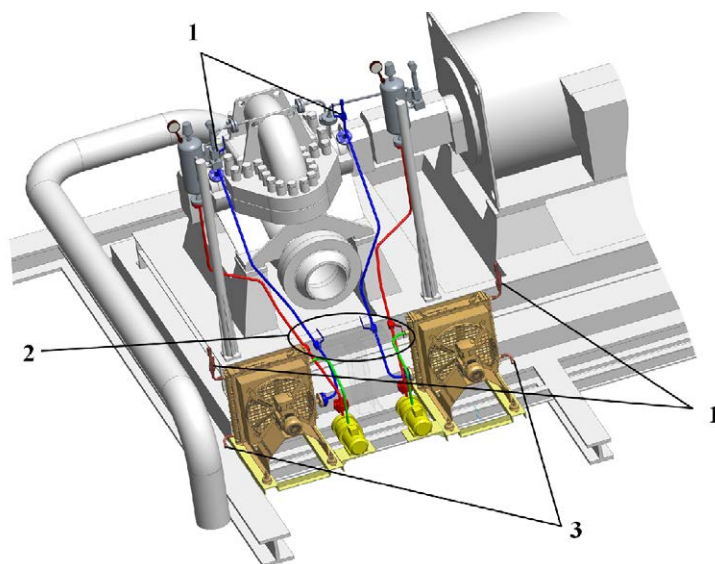
Prace obejmowały również wykonanie zasilania w energię elektryczną silników pompy cyrkulacyjnej i chłodnicy z wentylatorem, ich sterowania i podłączenia do istniejącego systemu sterowania/sygnalizacji oraz pomiar temperatury ze wskazaniem lokalnym dla każdego uszczelnienia.



Ryc. 10. Widok perspektywiczny proponowanego usytuowania chłodnic i pomp cyrkulacyjnych: 1- zbiornik termosyfonowy, 2- komora zabudowy uszczelnienia, 3- chłodnica wentylatorowa, 4- nowy podest, 5- pompa cyrkulacyjna

Fig. 10. Perspective view of the proposed location of coolers and circulation pumps:

1- thermosiphon tank, 2- seal housing chamber, 3- fan cooler, 4- new platform, 5- circulating pump



Ryc. 11. Zabudowa nowych elementów systemu chłodzenia uszczelnień mechanicznych:

1-zawór odpowietrzający, 2- zawory odcinające. 3- zawory spustowe

Fig. 11. Installation of new elements of the mechanical seal cooling system: 1- breather valve, 2- shut-off valves. 3- drain valves

Maksymalne ciśnienie robocze dla pompy cyrkulacyjnej oraz dla chłodnicy oleju wynosiło 100 bar (maksymalne ciśnienie robocze w układzie cieczy buforowej jakie może wystąpić podczas awarii).

PRACA W STREFIE ZAGROŻENIA WYBUCEM EX (SKRÓT ANG. EXPLOSIVE)

Bezpieczna praca urządzeń elektrycznych w obszarach zagrożonych wybuchem uzależniona jest od dostosowania tych urządzeń do warunków pracy.

W proponowanym rozwiązaniu chłodzenia uszczelnień mechanicznych zastosowane urządzenia były przystosowane

do pracy w strefie zagrożenia wybuchem: grupa wybuchowości II A, klasa temperaturowa T3.

Zmodernizowany system chłodzenia spełnia wszystkie warunki dotyczące pracy agregatu pompowego przeznaczonego do pracy w strefie Ex.

Warunki te podane zostały w rozporządzeniu Ministra Gospodarki z dnia 22 grudnia 2005 r. w sprawie zasadniczych wymagań dla urządzeń i systemów ochronnych przeznaczonych do użytku w przestrzeniach zagrożonych wybuchem (Dz. U. Nr 263/05, poz. 2203), w dyrektywie ATEX 94/9/EC, a także w normach - EN dotyczących przestrzeni zagrożonych i nie zagrożonych wybuchem.

PODSUMOWANIE

Opisane powyżej nowe rozwiązanie systemu chłodzenia uszczelnień zostało zaproponowane i wdrożone przez firmę P.B.W. HYDRO-POMP dla trzech pomp ropy naftowej.

Rozwiązanie uwzględnia adaptację istniejących przyłączy uszczelnień mechanicznych oraz wykorzystanie dotychczasowych elementów układu termosyfonowego. Zaletą zastosowanego rozwiązania jest fakt, że nie trzeba przygotowywać i doprowadzać wody chłodzącej z zewnątrz w celu ochłodzenia cieczy buforowej w komorze uszczelnień mechanicznych pompy. Wiązałoby się to z kosztownym zbudowaniem ciągu rur do obiegu wody chłodzącej wokół pomp i wymianą zbiornika termosyfonowego na nową konstrukcję posiadającą wewnątrz węzownicę dla obiegu tej wody. Koniecznym było jedynie doprowadzenie z zewnątrz zasilania w energię elektryczną.

Elementy dodatkowe systemu chłodzenia zabudowano w niewielkiej odległości od każdego z uszczelnień i dobrze wykorzystano przestrzeni wokół pomp. Po modernizacji system nie ogranicza dostępu do korpusów łożyskowych pomp.

Zmodernizowany system chłodzenia spełnia wszystkie warunki dotyczące bezawaryjnej, bezobsługowej i bezpiecznej pracy agregatu pompowego przeznaczonego do pracy w strefie Ex.

SUMMARY

A new solution for the seal cooling system has been proposed and implemented by the company P.B.W. HYDRO-POMP on three crude oil pumps.

This solution also took into account the adaptation of existing mechanical seals connections and the use of existing elements of the thermosiphon system. The advantage of the solution is that you do not need to prepare and supply cooling water from the outside to cool the buffer liquid in the pump mechanical seal chamber. This would involve the costly construction of a string of pipes for circulating the cooling water around the pumps and replacement of the thermosiphon tank for a new structure with a coil inside for circulating this water. It was only necessary to supply electricity from outside.

Additional elements of the cooling system were built a short distance from each of the seals and the space around the pumps was well used. After modernization, the system does not limit access to the pump bearing housing.

The modernized cooling system meets all the conditions for trouble-free, maintenance-free and safe operation of the pump unit designed for operation in the Ex zone.

LITERATURA

- BURGMANN, 2004. Mechanical Seals - Design Manual 15.3.
PN-EN ISO 21049:2010 - Pompy. Systemy uszczelnień wałów pomp odśrodkowych i rotacyjnych.
API 682 4TH EDITION, 2014. Pumps - Shaft Sealing Systems for Centrifugal and Rotary Pumps.