

MONITOROWANIE PARAMETRÓW PRACY JAKO WARUNEK STEROWANIA EKSPLOATACJĄ GŁÓWNEGO UKŁADU NAPĘDOWEGO STATKU

Andrzej Adamkiewicz

*Szczecin Maritime Academy
Faculty of Mechanical Engineering
Institute of Technical Operation of Marine Power Plants
Wały Chrobrego 1-2, 70-500 Szczecin, Poland
e-mail: andrzej.adamkiewicz@am.szczecin.pl*

Janusz Fydrych

Euro Africa Shipping Lines Co Ltd., Szczecin

Abstract

W artykule przedstawiono możliwości i skuteczność wykorzystania systemu monitorowania układu automatycznej regulacji i sterowania głównego układu napędowego wybranego statku. Przeprowadzono analizę stanów eksploatacyjnych objawiających się niestabilnością prędkości obrotowej wału i awaryjnymi wyłączeniami prądnicy wałowej z sieci elektroenergetycznej statku. Wykazano, iż możliwość śledzenia zmian wartości parametrów pracy oraz ich charakteru pozwala na bieżącą ocenę przebiegu procesów energetycznych on line, niekoniecznie z zastosowaniem rozbudowanych systemów diagnostycznych. Pokazano przykład podejmowania decyzji eksploatacyjnych w oparciu o zaprezentowany system monitorowania.

Keywords: *monitorowanie, główny układ napędowy statku, silnik spalinowy, sterowanie, parametry pracy.*

1. Wprowadzenie

Przeznaczeniem układu energetycznego statku morskiego jest przetwarzanie energii dostarczanej w paliwie na pracę mechaniczną niezbędną dla ruchu jednostki z określoną prędkością oraz na energię elektryczną i ciepłą dla celów technologicznych i socjalno-bytowych. Statek jest jednostką autonomiczną, dla której podczas realizacji zadania serwis zewnętrzny nie może udzielić wsparcia. Stąd problematyka oceny prawidłowości funkcjonowania elementów układu energetycznego podczas podróży statku ma istotne znaczenie.

Współczesne siłownie statków, wyposażane są w układy kontrolno-pomiarowe przetwarzające sygnały mierzonych wielkości fizycznych układu napędowego na wielkości elektryczne. Ułatwia to przetwarzanie sygnałów, których sprzężenie z układem automatycznej regulacji i sterowania procesami wytwarzania energii jest monitorowane dla celów diagnostyki procesowej.

W artykule wykazano przydatność monitorowania parametrów pracy głównego układu napędowego w stanach eksploatacyjnych przejawiających pozaprojektowe zachowania się jego elementów, takie jak istotna zmiana prędkości obrotowej wału napędowego i awaryjne wyłączenia prądnicy wałowej z sieci elektroenergetycznej statku (black-out'y) do poszukiwania przyczyn ich zaistnienia[6].

2. Struktura systemu monitorowania parametry pracy napędu głównego statku

Spełniając wymagania klasy automatyzacji, siłownia statku jest dostosowana do współpracy z systemem monitorowania parametrów pracy. Tym samym system staje się

podstawowym źródłem informacji do diagnozowania funkcjonalnego i sterowania eksploatacją głównego układu napędowego statku [3, 5].

Jednym z takich narzędzi jest system przeznaczony do zdalnego sterowania i automatycznej regulacji głównego silnika napędowego ABB - Remote Control System (ABB Marine Rotterdam), w połączeniu z podsystemem monitorowania parametrów pracy NORIS – Germany oraz układem sterowania pracą śruby nastawnej i silnika FAMP III, zainstalowany na kontenerowcu [1, 4]. System jest otwarty, dostosowany do obsługi jedno lub wielosilnikowego zespołu napędowego, zdalnego sterowania śrubą nastawną, turbosprężarką, kotłem parowym na olej termalny, prądnicą wałową oraz takimi mechanizmami współpracującymi z silnikiem głównym jak: regulator prędkości obrotowej silnika głównego w układzie sprzężonym ze śrubą nastawną, zawory upustu powietrza doładowania i wylotu spalin oraz kontroli temperatury powietrza doładowania.

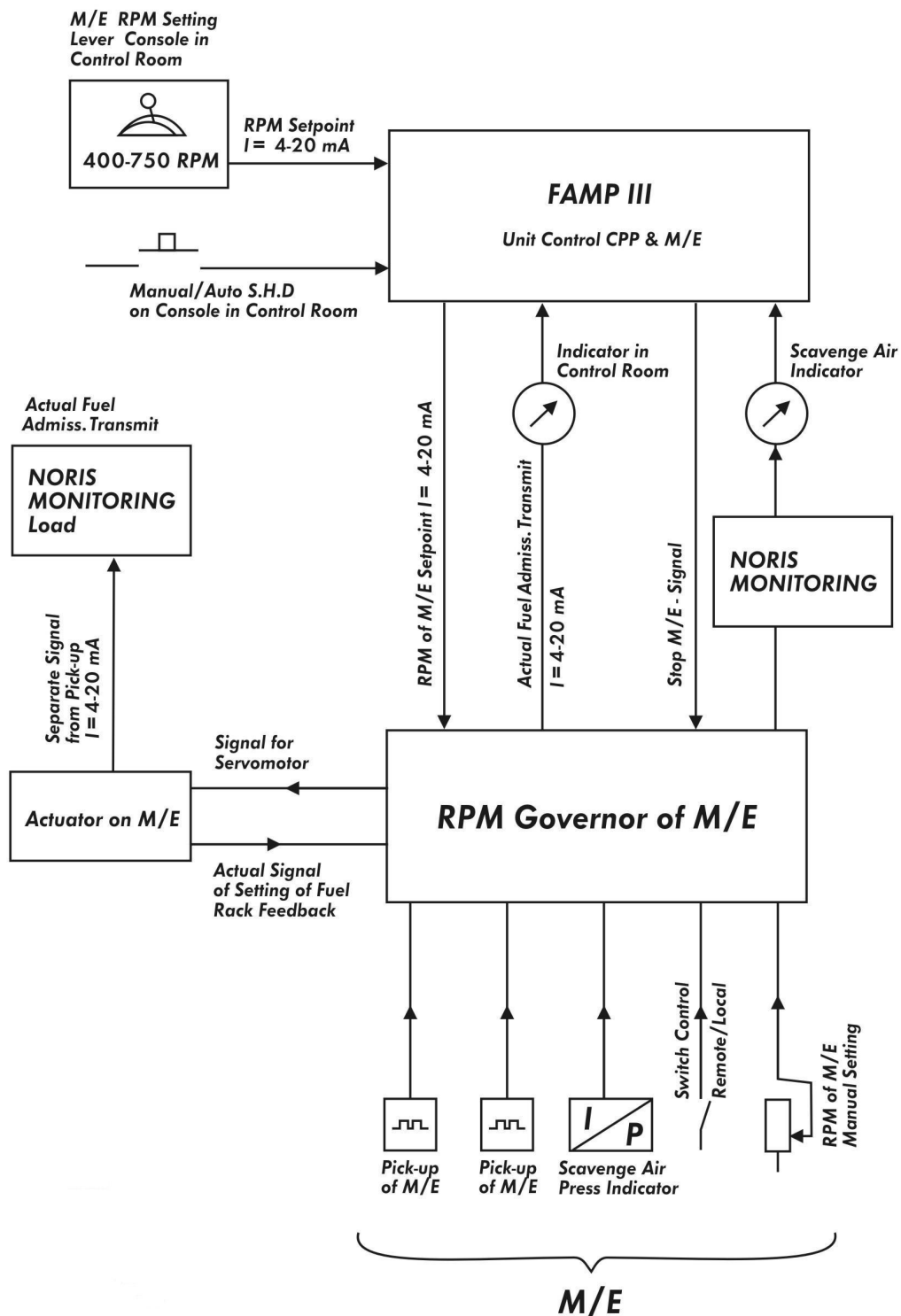
W prezentowanym przypadku system skonfigurowany został dla jednosilnikowego pośredniego układu napędowego z rzędowym silnikiem wysokoprężnym typu B&W MANN 8L56 o mocy 3840 kW i prędkości obrotowej wału 750 obr/min, z zawieszoną prądnicą wałową, wyposażonego w elektroniczny regulator prędkości obrotowej [1, 2]. Nominalna prędkość obrotowa wału śrubowego 147 obr/min.

Na rysunku 1 przedstawiono schemat przepływu i przetwarzania sygnałów pomiędzy regulatorem prędkości obrotowej silnika głównego, blokiem sterowania śrubą nastawną FAMP III i systemem monitorowania NORIS [1, 4]. Centralny blok sterujący układu automatycznej regulacji przesyła sygnały wielkości mierzonej do podukładów wykonawczych i systemu NORIS. System został zaprogramowany jako standardowy układ ABB Advant Controller dla obsługi 110-ciu procesów. Ciągła obserwacja wybranych procesów umożliwia ich graficzną prezentację w funkcji czasu z jednoczesnym zapisem wartości liczbowych. System ten umożliwia wybór długości przedziału czasu zarejestrowanych przebiegów graficznych parametrów. Częstość próbkowania i rejestracji są wielkościami nastawianymi przez operatora w przedziale od 1 do 1200 sekund, natomiast przebieg graficzny może być edytowany w przedziale od 5 min. do 5 godz.

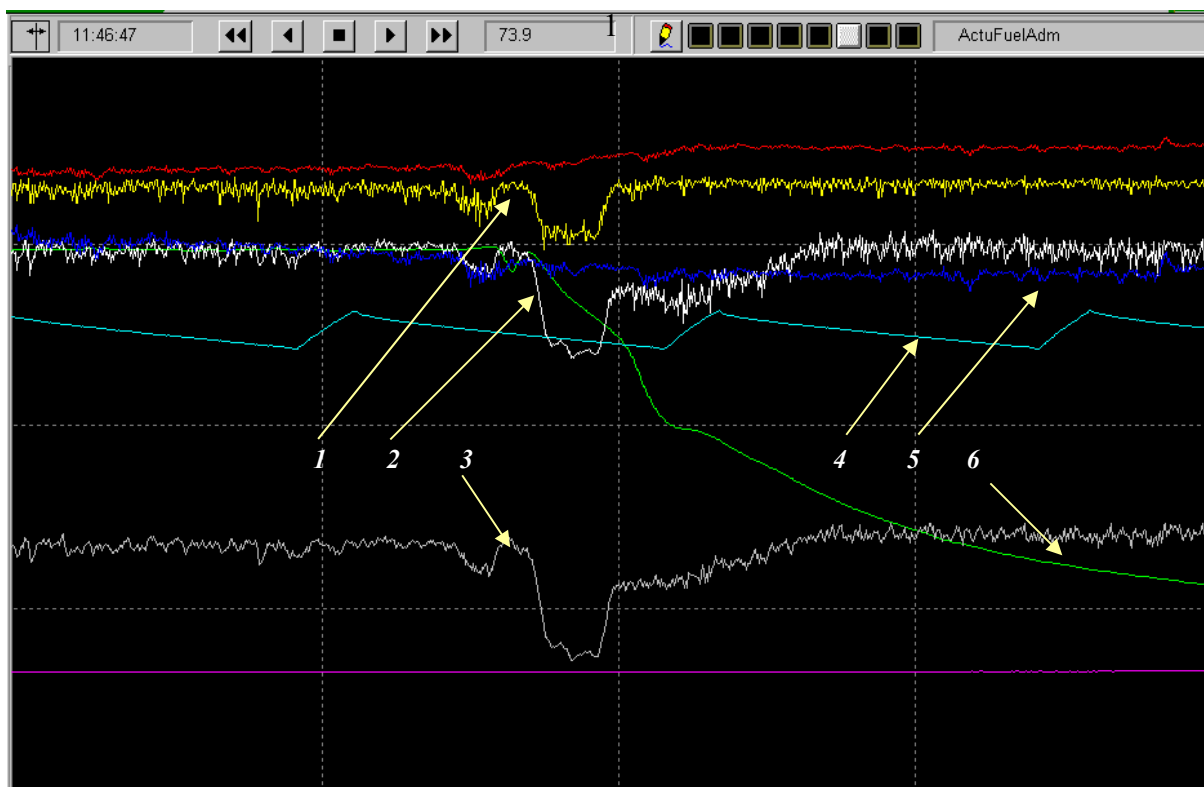
3. Detekcja niesprawności w głównym układzie napędowym statku

Na rysunku 2 przedstawiono zarejestrowane w ciągu 2 godzin przez system NORIS przebiegi parametrów pracy głównego układu napędowego podczas pracy z załączoną prądnicą wałową. Zakłócenia funkcjonowania silnika głównego na monitorze ujawniły się przede wszystkim jako krótkotrwała zmiana prędkości obrotowej wału silnika głównego z wyłączeniem prądnicy wałowej z szyn głównej tablicy rozdzielczej [5, 6]. Stwierdzona niestabilność prędkości obrotowej wału silnika posłużyła do analizy przyczyn niepoprawnego funkcjonowania głównego układu napędowego statku.

Dopuszczalna przez towarzystwa klasyfikacyjne nierównomierność częstotliwości prądu podczas pracy ze stałą prędkością obrotową wynosi (2 – 2,5) Hz. Jest ona warunkiem zsynchronizowania prądnicy wałowej z siecią i załączenia jej na sieć. Wartością alarmową dla prądnicy wałowej, pod względem osiągniętej częstotliwości wytwarzanego prądu na sieć, jest przekroczenie odchyłki od 50 Hz o wartość $\pm(2,5 - 3,2)$ Hz. Odpowiada to zmianie prędkości obrotowej o (5 – 6,4) % w stosunku do nominalnej prędkości obrotowej wału silnika. Wartością graniczną, kiedy następuje samoczynne wyłączenie prądnicy wałowej z pracy na główną tablicę rozdzielczą jest fluktuacja częstotliwości $\pm(3,5 - 3,8)$ Hz, co stanowi odchyłkę $\pm(7 - 7,6)$ %, odpowiadającą zmianie prędkości obrotowej o (52,5 - 57,0) obr/min [4, 5]. Są to uwarunkowania spełniane przez poprawnie pracujący układ zasilania paliwem oraz regulator prędkości obrotowej silnika głównego przy zdatnym technicznie układzie napędowym.



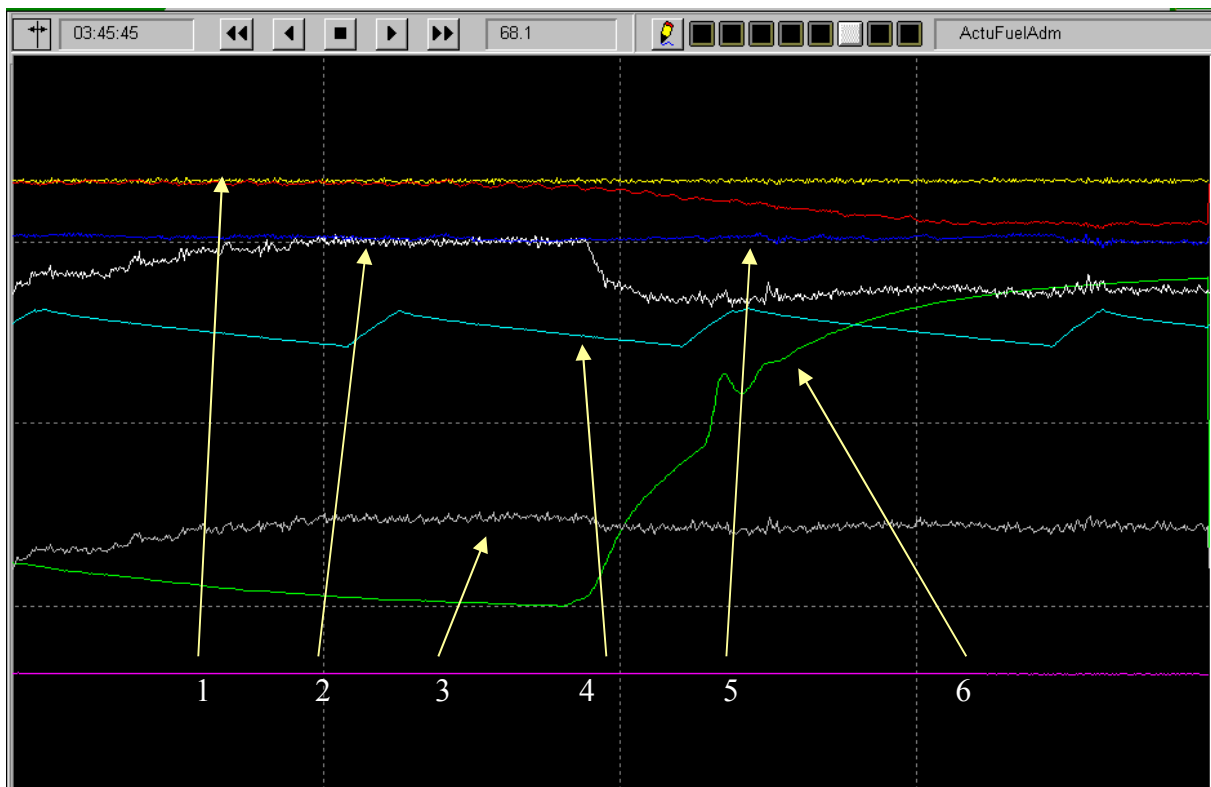
Rys. 1. Schemat przepływu i przetwarzania sygnałów pomiędzy elektronicznym regulatorem prędkości obrotowsilnika głównego, blokiem sterowania śrubą nastawną FAMP III i systemem monitorowania NORIS



Rys. 2. Zarejestrowane przez system monitorowania NORIS przebiegi parametrów pracy układu napędowego:
 1 – prędkość obrotowa wału silnika głównego; 2 – nastawa listwy paliwowej; 3 – ciśnienie powietrza doładowującego; 4 – ciśnienie powietrza sterującego; 5 – kąt ustawienia śruby nastawnej napędu głównego; 6 – zmiana temperatury paliwa zasilającego silnik główny podczas przejścia zasilania silnika paliwem ciężkim (IFO 180) na olej napędowy(MGO)

Wśród zarejestrowanych przebiegów, naruszenie stabilności wykazały: 1 – prędkość obrotowa wału silnika, 2 – ciśnienie paliwa oraz 3 – ciśnienie powietrza doładowania. Pozostałe parametry nie wykazały istotnych zmian. Okres zakłócenia trwał około 7 sekund. Obniżenie prędkości obrotowej wału było na tyle duże (o 72 obr/min.), iż w zarejestrowanym przypadku nastąpiło wyłączenie prądnicy wałowej z głównej tablicy rozdzielczej. Dokonana natychmiast zmiana paliwa zasilającego silnik z ciężkiego (International Fuel Oil 180 – IFO 180) na olej napędowy (Marine Gas Oil – MGO) – linia zielona na rysunku 2 – przywróciła na pewien okres czasu stabilną pracę układu napędowego z poprawnymi wartościami parametrów pracy. Ponieważ nie zaistniały zakłócenia zewnętrzne (pogodowe, sterowany wzrost obciążenia silnika głównego) oraz nie było sygnalizowanych zakłóceń wewnętrznych (np. awaria bloku przygotowania paliwa), wpływających na pracę układu napędowego obserwacje ukierunkowano pod kątem jakości pracy elektronicznego układu kontroli prędkości obrotowej (*RPM Governor of M/E,*), przeciążenia silnika głównego kontrolowanego przez blok (*NORIS MONITORING Load*) oraz łączności z blokiem sterowania śrubą nastawną i silnikiem głównym (*Unit Control CCP & M/E, FAMP III*). Po ustabilizowaniu się pracy napędu głównego, powrócono na zasilanie silnika głównego paliwem ciężkim (IFO 180), podczas którego zmiana temperatury paliwa została przedstawiona na rysunku 3 linią zieloną 6 (czas edycji 2. godziny).

Stabilna praca układu napędowego statku trwała kilka dni, do chwili ponownego wyłączenia prądnicy wałowej z głównej tablicy rozdzielczej. W tej sytuacji przeprowadzono kontrolę sygnałów przepływających z układu sterowania pracą śruby nastawnej i silnika FAMP III do elektronicznego układu kontroli prędkości obrotowej (*RPM Governor of M/E,*), zgodnie z rysunkiem 1.



Rys. 3. Zarejestrowane przez system monitorowania NORIS przebiegi parametrów pracy głównego układu napędowego podczas powrotu na zasilanie silnika paliwem ciężkim, gdzie oznaczenia: 1 – 2 jak na rys. 2, 6 – zmiana temperatury paliwa zasilającego silnik główny podczas przejścia na paliwo ciężkie (IFO 180)

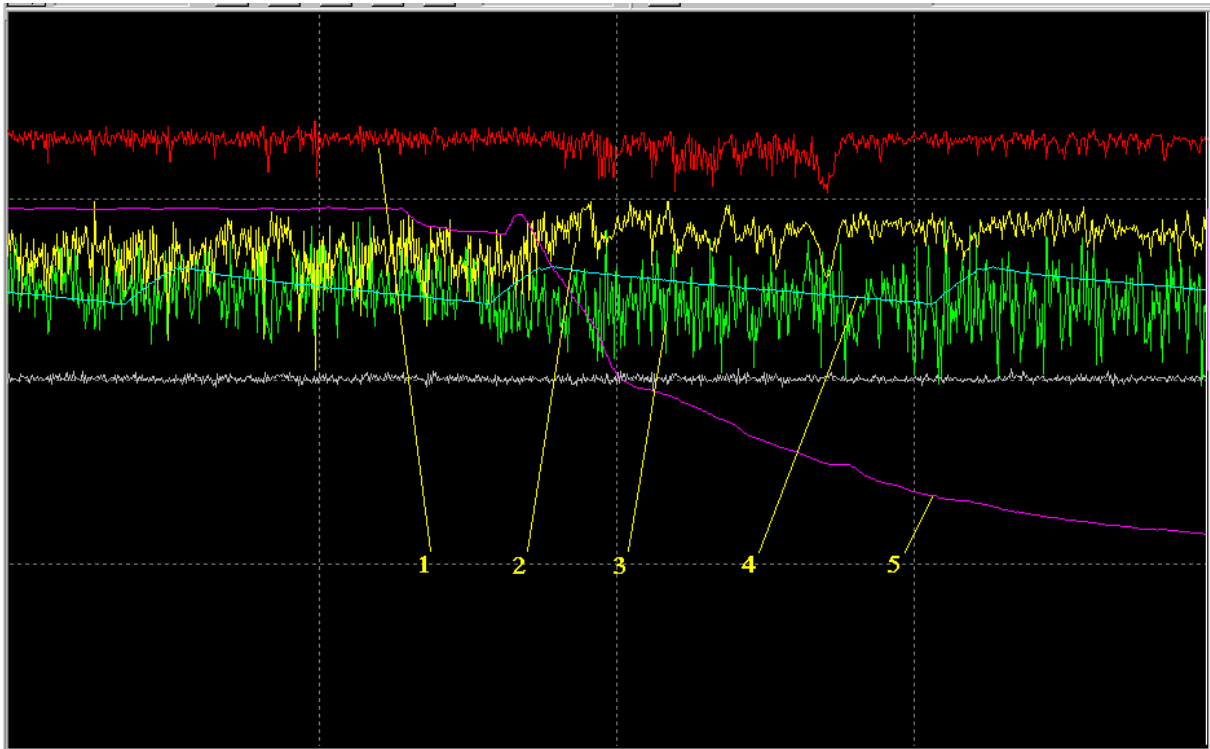
Ich stałość gwarantuje stan stabilnej pracy układu (stałej prędkości obrotowej wałów silnika i prądnicy wałowej oraz niezmienniej pozycji płatów śruby nastawnej napędu głównego). Jego wartość decyduje o odpowiedzi regulatora – zmianie nastawy pozycji listwy paliwowej zapewniającej wymagane napełnienie pomp paliwowych wysokiego ciśnienia (*Actual Fuel Admiss. Transmit*). W rozpatrywanym stanie pracy układu, kontrola sygnałów wykazała poprawność wartości i przebiegu sygnałów, wychodzących z bloku sterowania śrubą nastawną i silnikiem głównym (*Unit Control CCP & M/E, FAMP III*).

4. Analiza przyczyn niestabilności pracy silnika głównego

Poszukiwanie przyczyn niestabilnej pracy silnika realizowano poprzez wykonanie szeregu sprawdzeń i profilaktycznych czynności obsługowych. Przeprowadzono korektę pozycjonowania czujników pomiaru prędkości obrotowej wału silnika głównego, przepłukano chłodnicę powietrza doładowania, sprawdzono poprawność pracy układu hydraulicznego śruby nastawnej napędu głównego statku oraz stan napełnienia i odpowietrzenia kotła termoolejowego. Sprawdzono nastawy wartości regulacyjnych oraz zmniejszono stałą czasową regulatora. Zarejestrowany w ciągu 2. godzin przebieg parametrów przedstawiono na rysunku 4. Wprawdzie uzyskano obraz bardzo dynamiczny, to w efekcie jednak utrzymujący w miarę bezpieczny zakres prędkości obrotowej silnika głównego, wymagany we współpracy z prądnicą wałową.

Pomimo przeprowadzonych zabiegów i przejścia na olej napędowy (MGO), podczas jazdy sztormowej regulator pracował zbyt dynamicznie, jego szybkie reakcje powodowały niestabilność prędkości obrotowej wału i nadal występowały wyłączenia prądnicy wałowej z głównej tablicy rozdzielczej (black-out'y). Taki stan i sposób funkcjonowania był niekorzystny dla silnika, ale ukierunkował poszukiwanie przyczyn braku stabilności pracy na

jakość pracy układu paliwowego silnika. Przyczyn generowania sygnałów niestabilnej pracy silnika głównego należało więc poszukiwać w niewłaściwym napełnianiu pomp paliwowych lub w naruszeniu jakości procesu spalania paliwa w silniku.



*Rys. 4. Zarejestrowane przez system monitorowania NORIS przebiegi parametrów pracy układu napędowego po przeprowadzonych profilaktycznych czynnościach obsługowych i korektach nastaw:
1 – prędkość obrotowa silnika głównego; 2 – nastawa listwy paliwowej; 3 – ciśnienie paliwa zasilającego silnik;
4 – ciśnienie powietrza sterującego; 5 – temperatura paliwa zasilającego silnik paliwem*

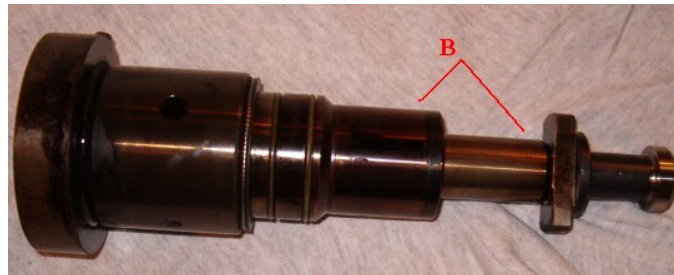
Sprawdzono aparaturę paliwową wysokiego ciśnienia. Stwierdzono uszkodzenia dwóch par precyzyjnych, przedstawionych na rysunkach 5 i 6. Na rysunku 5 pokazano uszkodzenie krawędzi roboczej nurnika pary precyzyjnej.



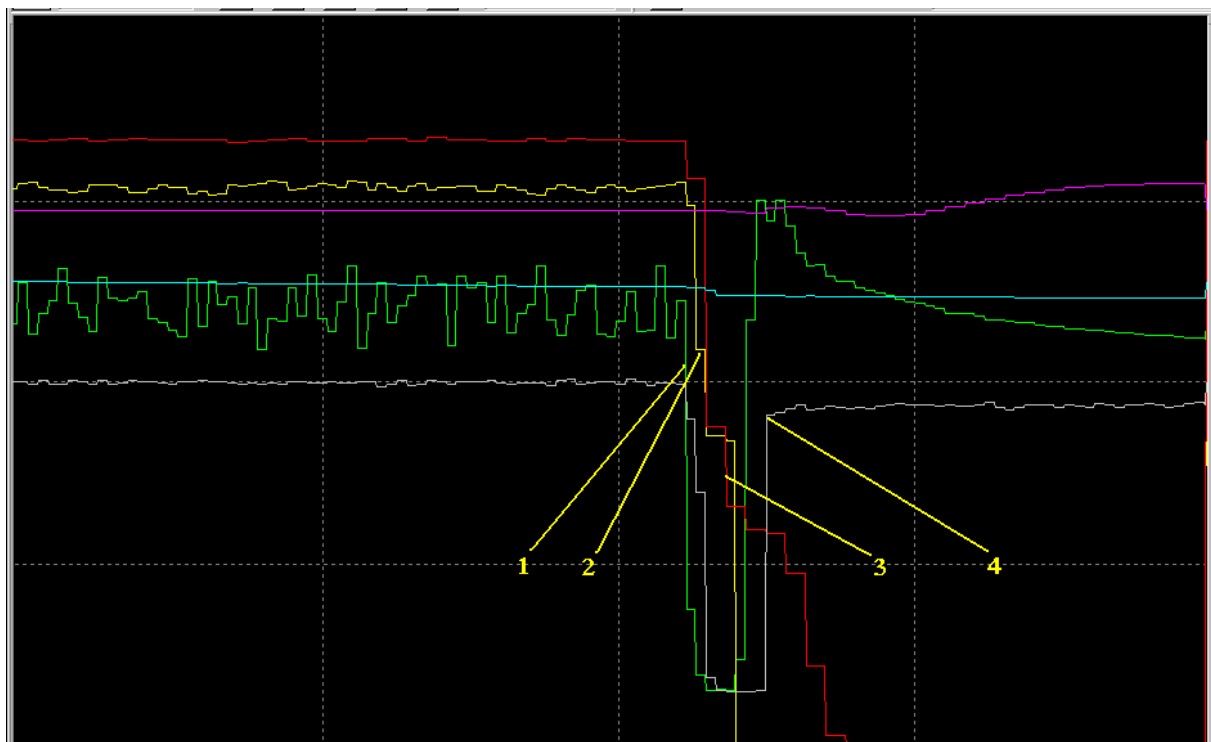
Rys.5. Uszkodzenie krawędzi roboczej nurnika pary precyzyjnej pompy paliwowej (punkt A)

Rysunek 6 wskazuje na przebarwienia powierzchni roboczych innej pary precyzyjnej z powodu zbyt wysokiej temperatury jako skutku zacierania. Uszkodzone elementy pompy wysokiego ciśnienia wymieniono na nowe. W celu sprawdzenia skuteczności

przeprowadzonego przeglądu aparatury paliwowej zwiększono dokładność edycji rejestrowanych parametrów pracy rozszerzając zapis na monitorze z dotychczasowych 2. godzin do 5. minut. Widok zapisu testowego na monitorze z black-out'em i przejściem z paliwa ciężkiego (IFO 180) na olej napędowy MGO przedstawiono na rysunku 7.



Rys.6. Przebarwienia na powierzchniach pary precyzyjnej z powodu zbyt wysokiej temperatury(powierzchnieB)



Rys. 7. Zarejestrowane przez system monitorowania NORIS przebiegi parametrów pracy układu napędowego podczas black-out'u na paliwie ciężkim (IFO 180) po przeglądzie aparatury paliwowej:

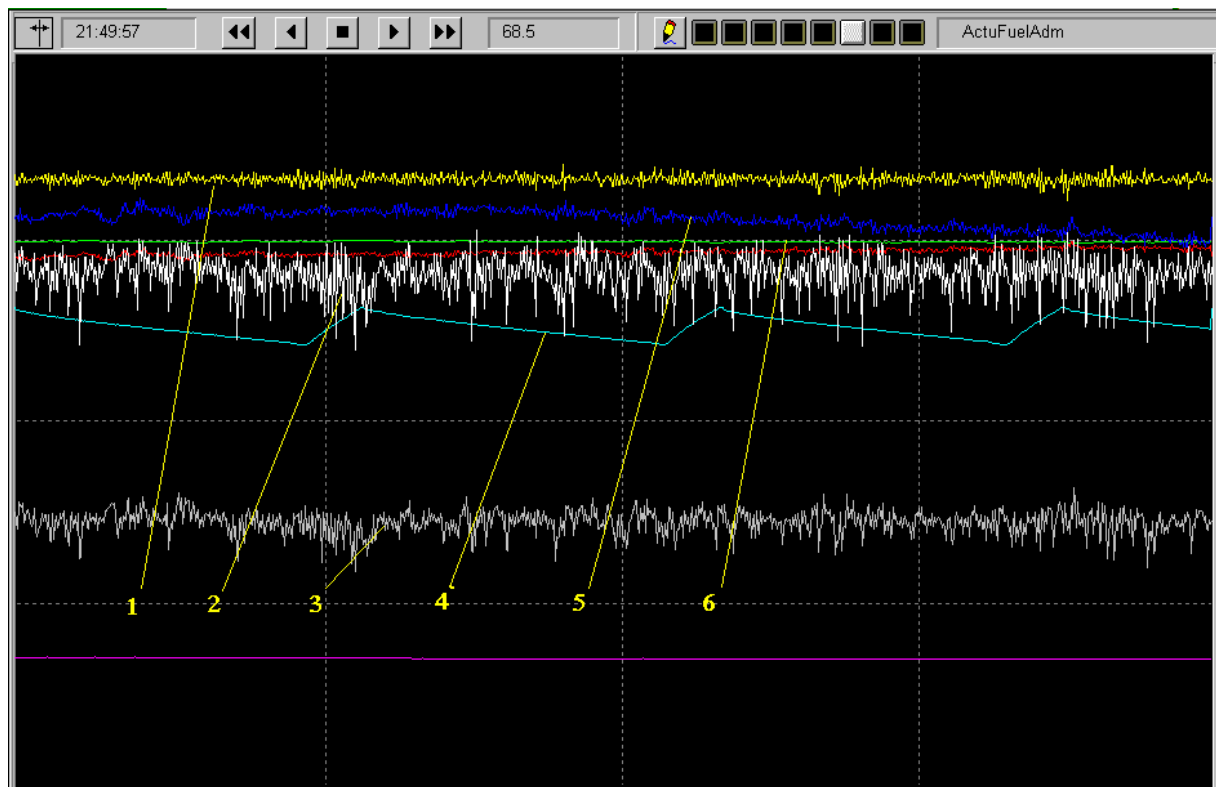
1 – ciśnienie paliwa zasilającego silnik; 2 – nastawa listwy paliwowej; 3 – prędkość obrotowa wału silnika głównego; 4 – ciśnienie powietrza doładowania silnika (czas edycji zapisu na monitorze 5 min.).

Podczas samoczynnego wyłączenia prądnicy wałowej z sieci zauważono znaczne wahania ciśnień paliwa oraz spadki ciśnienia powietrza doładowania. Układ zachowywał się niestabilnie, tak jakby nie realizował programu regulacji silnika $n = idem$ (constans RPM), nie uwzględniając nastaw śruby nastawnej. Układ szukając nowego stanu pracy stabilnej, redukował nastawę pompy paliwowej do aktualnego stanu obciążenia (ciśnienia powietrza doładowania). Nieprawidłowe przebiegi wykazały w tym przypadku ciśnienie paliwa zasilającego silnik, prędkość obrotowa wału silnika i ciśnienie powietrza doładowania. Taki rezultat wskazał na wniosek, iż przyczyną niestabilnej pracy silnika była wadliwa praca układu zasilania silnika paliwem.

Ponieważ przy sprawdzonej aparaturze paliwowej, czystych filtrach powietrza i paliwa, właściwej pracy bloku przygotowania paliwa w dalszym ciągu rejestrowano niestabilną pracę silnika głównego to jej przyczyną jest jakość spalanego paliwa IFO 180, na co wskazuje również stabilizacja pracy po przejściu ponownie na zasilanie silnika paliwem MGO.

Podsumowując wyniki przeglądu aparatury paliwowej, zarejestrowane po nim przebiegi parametrów pracy po zmianie paliwa z IFO 180 na paliwo MGO, można było uznać tezę, że spalone paliwo nie spełniało wymagań producenta silnika.

Wyniki analizy strukturalnej stosowanego paliwa ciężkiego IFO 180 pod kątem frakcyjności wykazały jego niejednorodność i rozwarstwianie się. Po zmianie paliwa na inne („nowe”), opisane objawy niestabilnej pracy głównego układu napędowego statku ustały. W konsekwencji jazda z załączoną prądnicą wałową nawet przy sztormowej pogodzie lub fali z rufy nie nastroczała problemu. Potwierdzeniem likwidacji niestabilności pracy układu napędowego są przedstawione na rysunku 8 przebiegi parametrów pracy zarejestrowane po wymianie paliwa ciężkiego IFO 180 na „nowe” (czas edycji przebiegów na monitorze 2. godziny).



Rys. 8. Zarejestrowane przez system monitorowania NORIS przebiegi parametrów pracy układu napędowego:
1 – prędkość obrotowa wału silnika głównego; 2 – nastawa listwy paliwowej; 3 – ciśnienie powietrza doladującego; 4 – ciśnienie powietrza sterującego; 5 – kąt ustawienia śruby nastawnej napędu głównego;
6 – temperatura paliwa zasilającego silnik główny po zastosowaniu „nowego” paliwa ciężkiego („new” IFO 180)

Wprowadzie zarejestrowany przebieg nastawy listwy paliwowej wskazuje na dynamiczną regulację silnika głównego, to stabilność prędkości obrotowej wału silnika głównego nie budziła wątpliwości, spełniała wymagania towarzystwa klasyfikacyjnego i pozwalała na dalszą bezpieczną eksploatację układu napędowego statku.

5. Podsumowanie i wnioski końcowe

Przedstawiony system monitorowania wybranych parametrów pracy głównego układu napędowego umożliwił pomiar, rejestrację i ocenę ich przebiegów/zakłóceń w układzie zasilania paliwem silnika głównego – ciśnienia paliwa (Actul Fuel Admission Transmit) oraz zmian przebiegów wartości parametrów, które były odpowiedzią układu automatycznej regulacji, w szczególności: wartości ciśnienia powietrza doładowania, temperatury spalin, stanu obciążenia silnika głównego z uwzględnieniem nastawy skrzydeł śruby napędowej. Umożliwiły one, tak stwierdzenie nieprawidłowej (niestabilnej) pracy układu, jak i poszukiwanie przyczyn ich zaistnienia.

Ciągły dozór poprawności funkcjonowania głównego układu napędowego statku realizowany za pomocą pokładowego systemu monitorującego umożliwił regulację ustawień w układzie sterowania zespołem napędowym oraz jego diagnozowanie chwilowe. Diagnozowanie to wspiera/uzasadnia podejmowanie decyzji obsługowych, tak uprzedzających zaistnienie większych w skutkach niesprawności jak i awarii. Dostarczając informacji w kolejnych procedurach wnioskowania diagnostycznego system monitorowania stał się narzędziem w sterowaniu procesem eksploatacji, uzasadniając tym samym swoją użyteczność na współczesnych statkach.

References

- [1] ABB Marine Rotterdam, *Dokumentacja techniczno-ruchowa sterowania układem napędu głównego ze śrubą nastawą dla statku m/s Topaz. Układ przeniesienia napędu, przekładnia redukcyjna, układ przetwarzania sygnałów FAMP III.*
- [2] Krupa, A., *Silniki sterowane elektronicznie, zaawansowanie, wdrożenia. Silniki Spalinowe.* Polskie Towarzystwo Naukowe Silników Spalinowych, Nr.1/2004(118), Marzec 2004, Rok XLIII, s.20-27.
- [3] Łosiewicz, Z., *Walory eksploatacyjne współczesnych systemów diagnozujących dla okrętowych silników spalinowych o zapłonie samoczynnym na przykładzie systemów CoCoS i CBM.* W zbiorze „Wybrane problemy projektowania i eksploatacji siłowni okrętowych”. Materiały XXVII Sympozjum Siłowni Okrętowych, Wydział Techniki Morskiej, Politechnika Szczecińska, Szczecin 2006, s.199-208.
- [4] NORIS Germany, *Instrukcja obsługi systemu kontroli pracy napędu głównego dla statku m/s „Topaz”.*
- [5] Szcześniak, J., *Cyfrowe regulatory prędkości obrotowej silników okrętowych.* Fundacja Rozwoju Wyższej Szkoły Morskiej w Szczecinie, Szczecin 2003.
- [6] Włodarski, J., K., *Stany Eksploatacyjne Okrętowych Silników Spalinowych.* Wyższa Szkoła Morska, Gdynia 2001.