



DZIEŃ MECHANIKA 2026



Konkurs na Najlepszą Pracę Dyplomową na Wydziale Mechanicznym UMG

Streszczenia prac konkursowych

Komputerowa symulacja niezawodności i gotowości systemu chłodzenia wodą zaburtową okrętowego silnika wolnoobrotowego

Tematem pracy inżynierskiej była analiza niezawodności i gotowości systemu chłodzenia wodą zaburtową okrętowego silnika wolnoobrotowego. Badania przeprowadzono na przykładzie instalacji gazowca Grażyna Gęsicka, wykorzystując dokumentację techniczną statku oraz komputerowy model systemu. Praca łączy przegląd zagadnień teoretycznych z analizą rzeczywistej instalacji i symulacją jej działania w różnych warunkach eksploatacyjnych.

Sprawne chłodzenie ma istotne znaczenie dla bezpieczeństwa i ciągłości pracy siłowni okrętowej. Uszkodzenie elementu instalacji może ograniczyć odbiór ciepła, a w konsekwencji doprowadzić do wyłączenia silnika głównego. Znaczenie takiego zdarzenia zależy nie tylko od rodzaju uszkodzonego urządzenia, lecz także od konfiguracji całego układu i możliwości wykorzystania rezerwy. Z tego względu w pracy rozpatrzono zarówno uszkodzenia poszczególnych elementów, jak i ich wpływ na działanie systemu.

Celem tej pracy inżynierskiej jest analiza niezawodności i gotowości systemu chłodzenia wodą zaburtową okrętowego silnika wolnoobrotowego na podstawie komputerowej symulacji w programie ReliaSoft.

W pierwszej części pracy przedstawiono podstawowe pojęcia związane z niezawodnością systemów technicznych. Niezawodność określa prawdopodobieństwo wykonywania wymaganej funkcji bez uszkodzenia w określonym czasie. Gotowość uwzględnia natomiast możliwość przywrócenia sprawności po awarii i opisuje prawdopodobieństwo, że system będzie zdolny do działania w danym momencie. Rozróżnienie tych pojęć jest ważne, ponieważ urządzenie może ulegać uszkodzeniom, a mimo to pozostawać przez większość czasu gotowe do pracy dzięki krótkim naprawom.

Omówiono struktury szeregowie, równoległe oraz struktury z rezerwą niepracującą. W układzie szeregowym uszkodzenie jednego z wymaganych elementów powoduje utratę sprawności systemu. W układzie równoległym działanie może być zachowane, jeżeli pozostaje sprawna odpowiednia liczba elementów. Rezerwa niepracująca oznacza wykorzystanie urządzenia zapasowego po uszkodzeniu urządzenia pracującego. Przedstawiono również rozkłady prawdopodobieństwa stosowane w analizie niezawodności oraz bazę danych OREDA jako źródło informacji o uszkodzeniach i naprawach.

Druga część pracy została poświęcona budowie i działaniu systemu chłodzenia wodą zaburtową. Scharakteryzowano pompy, wymienniki ciepła, armaturę oraz rozwiązania umożliwiające pobór i przepływ wody morskiej. Na podstawie dokumentacji statku przedstawiono przebieg instalacji i określono zależności między jej elementami. Informacje te wykorzystano następnie do opracowania modelu niezawodnościowego.

W analizowanym systemie woda morska pobierana jest przez skrzynie burtową i denną. Dalej przepływa przez zawory kingstonowe i kosze filtracyjne, których zadaniem jest zatrzymywanie większych zanieczyszczeń. Następnie trafia do magistrali wody zaburtowej i na ssanie pomp. Pompy główne tłoczą wodę do chłodnic centralnych, a oddzielne pompy zasilają chłodnice powietrza doładowującego silników głównych. Po odebraniu ciepła woda jest odprowadzana za burtę.

Na każdy silnik główny przypadają dwie pompy główne i dwie pompy chłodnic powietrza doładowującego. W całym układzie znajduje się osiem pomp. W normalnych warunkach pracują cztery, po jednej pompie z każdej pary, natomiast pozostałe stanowią rezerwę. Taki sposób organizacji pracy pozwala ograniczyć skutki pojedynczych uszkodzeń. W modelu uwzględniono również chłodnice, zawory i główny rurociąg, ponieważ ciągłość przepływu wody zależy od współdziałania tych elementów.

Część badawczą wykonano w programie ReliaSoft BlockSim. Instalację odwzorowano za pomocą schematów blokowych, w których poszczególne bloki reprezentowały urządzenia lub grupy urządzeń. Połączenia między blokami określały warunki zachowania sprawności systemu. Opracowanie modelu wymagało przełożenia schematu technicznego na strukturę niezawodnościową, z uwzględnieniem urządzeń pracujących i zapasowych oraz wymaganej liczby sprawnych obiegów chłodzenia.

Dane wejściowe obejmowały średnie czasy między uszkodzeniami oraz średnie czasy napraw. W pierwszej kolejności wykorzystano bazę OREDA, a następnie dane z publikacji Ait Allala i współautorów oraz Chybowskiego. Porównanie różnych źródeł pozwoliło sprawdzić, w jakim stopniu przyjęte parametry urządzeń wpływają na wynik oceny całej instalacji. Symulowany okres wynosił 87 600 godzin, co odpowiada dziesięciu latom pracy.

Analiza obejmowała cztery scenariusze. W scenariuszu pierwszym przyjęto temperaturę wody morskiej od 5°C do 20°C oraz konieczność zapewnienia chłodzenia obu silników głównych. W scenariuszu drugim zastosowano ten sam zakres temperatur, lecz do zachowania sprawności systemu wystarczało chłodzenie co najmniej jednego silnika. Zmiana tego wymagania wpływała na sposób połączenia obiegów w modelu i na skutki uszkodzenia jednego z nich.

Scenariusze trzeci i czwarty odpowiadały warunkom tropikalnym, z temperaturą wody morskiej od 25°C do 32°C. W trzecim wymagano sprawności chłodzenia obu silników, a w czwartym co najmniej jednego. W tych wariantach założono jednoczesną pracę wszystkich chłodnic, bez chłodnicy rezerwowej. W konsekwencji uszkodzenie wymaganej chłodnicy prowadziło do utraty sprawności danego obiegu. Porównanie scenariuszy pozwoliło oddzielić wpływ warunków pracy od wpływu wymagań stawianych całemu systemowi.

Dla każdego wariantu wyznaczono funkcję niezawodności, średnią i chwilową gotowość, czas pracy, całkowity czas przestoju oraz oczekiwaną liczbę uszkodzeń. Analizowano także średni czas do pierwszego uszkodzenia, średni czas między uszkodzeniami i średni czas naprawy. Dzięki temu ocena nie ograniczała się do jednego wskaźnika, lecz obejmowała zarówno prawdopodobieństwo pracy bez awarii, jak i możliwość dalszej eksploatacji po naprawach.

Wyniki dla danych OREDA wykazały różnice między rozpatrywanymi konfiguracjami. W scenariuszu pierwszym całkowity czas przestoju w okresie dziesięciu lat wyniósł 14 godzin. W scenariuszu drugim wyniósł 6 godzin. Dopuszczenie działania systemu przy sprawnym chłodzeniu co najmniej jednego silnika ograniczyło zatem wpływ uszkodzenia pojedynczego obiegu na przestój całej instalacji.

Największy czas przestoju uzyskano w scenariuszu trzecim: 315 godzin. W tym wariantcie wymagano chłodzenia obu silników w warunkach tropikalnych, a wszystkie chłodnice były potrzebne do pracy i nie pozostawały w rezerwie. Scenariusz czwarty, w którym wystarczał jeden sprawny obieg, dał 6 godzin przestoju. Wyniki pokazują, że przy ocenie systemu istotne jest dokładne określenie, jakie ograniczenie jego działania uznaje się za utratę sprawności.

Przeprowadzono również analizę uszkodzeń poszczególnych urządzeń i ich udziału w przestojach. W scenariuszach odpowiadających normalnym warunkom pracy najczęstsze uszkodzenia występowały w zaworach kingstonowych. Ich wpływ na gotowość całego systemu był jednak ograniczony dzięki zastosowaniu rezerwy niepracującej. W wariantach tropikalnych istotną rolę odgrywały chłodnice, których konfiguracja zwiększała podatność obiegu na utratę sprawności.

W pracy zwrócono uwagę, że liczba uszkodzeń nie jest jedynym kryterium wskazującym najważniejsze urządzenia. Mimo częstszych uszkodzeń zaworów kingstonowych to uszkodzenia chłodnic powodowały najdłuższe przestoje. Ocena elementu powinna więc uwzględniać nie tylko częstość awarii, lecz także czas naprawy i możliwość przejęcia jego

funkcji przez urządzenie rezerwowe. Taka analiza pomaga wskazać elementy mające największy wpływ na ciągłość chłodzenia.

Porównanie trzech źródeł danych dla scenariusza pierwszego wykazało, że dobór parametrów wejściowych wpływa na wartości wskaźników. W tabeli porównawczej niezawodność po 87 600 godzinach wynosiła 0,046 dla danych Ait Allala i współautorów, 0,118 dla danych Chybowskiego oraz 0,080 dla danych OREDA. Jednocześnie średnia gotowość pozostawała wysoka we wszystkich trzech przypadkach. Potwierdza to, że niezawodność i gotowość opisują różne aspekty działania instalacji i nie powinny być stosowane zamiennie.

Istotnym ograniczeniem badań była dostępność danych eksploatacyjnych. Parametry zaczerpnięte z baz i publikacji nie stanowią pełnego zapisu rzeczywistych awarii analizowanego statku. Model zawierał również uproszczenia, w tym stałe parametry uszkodzeń i napraw. Wyniki należy zatem traktować jako ocenę przyjętych wariantów i założeń, a nie jako dokładną prognozę liczby awarii lub przestojów gazowca. Porównanie źródeł pozwoliło uwidocznienie znaczenie tego ograniczenia.

Podsumowanie

Praca obejmowała przegląd zagadnień niezawodnościowych, charakterystykę systemu chłodzenia gazowca Grażyna Gęsicka, opracowanie modelu w programie ReliaSoft BlockSim oraz analizę czterech scenariuszy eksploatacyjnych. Uzyskane wyniki potwierdziły znaczenie struktury niezawodnościowej i rezerwy urządzeń dla ciągłości działania instalacji. Opracowany model umożliwił porównanie warunków normalnych i tropikalnych oraz wskazanie elementów mających największy wpływ na przestoje.

Najmniej korzystny okazał się wariant tropikalny wymagający sprawności chłodzenia obu silników. Praca wszystkich chłodziń bez rezerwy zwiększała skutki pojedynczego uszkodzenia. Na tej podstawie w pracy zalecono rozważenie zastosowania chłodziń rezerwowych lub wymienników o większej powierzchni wymiany ciepła i wyższej odporności na warunki środowiskowe. Wnioski te dotyczą kierunku możliwych modyfikacji systemu, a nie potwierdzenia wykonanej modernizacji.

Wartość praktyczna opracowania polega na połączeniu dokumentacji technicznej z analizą symulacyjną całego systemu. Pozwala to oceniać skutki uszkodzeń nie tylko na poziomie pojedynczego urządzenia, lecz również na poziomie obiegu i całej instalacji. Jednocześnie praca wskazuje potrzebę korzystania z wiarygodnych danych oraz uwzględniania ograniczeń modelu. Odpowiedni dobór konfiguracji i urządzeń rezerwowych może poprawić niezawodność i gotowość systemów siłowni okrętowej.