STRESZCZENIE

ANALIZA PORÓWNAWCZA SKŁADOWYCH HARMONICZNYCH DRGAŃ SKRĘTNYCH OKRĘTOWEGO UKŁADU NAPĘDOWEGO Z TŁOKOWYM SILNIKIEM SPALINOWYM

Celem pracy było zbadanie czy jest możliwa diagnostyka wybranych uszkodzeń okrętowego silnika tłokowego, w oparciu o analizę porównawczą składowych harmonicznych drgań skrętnych wału ZSE mierzonych czujnikami optycznymi.

Praca składała się z dziewięciu rozdziałów, zawierających 67 rysunków i 53 tabele.

W rozdziale pierwszym przedstawiono przyczyny stosowania w okrętownictwie układów napędowych z tłokowym silnikiem spalinowym. Na podstawie przeglądu literatury określono liczbę eksploatowanych napędów z tym typem silnika oraz aspekt środowiskowy związany z ich eksploatacją. Określono również tendencje rozwojowe oraz ich wpływ na drgania skrętne.

W rozdziale drugim przedstawiono definicję drań skrętnych, oraz ich powiązanie z obszarem obrotów zabronionych (BSR) występującym w eksploatacji wolnoobrotowych silników tłokowych. Przedstawiono również awarie spowodowane drganiami skrętnymi, oraz obowiązujące normy dotyczące maksymalnego czasu przejścia BSR. Podano przyczyny pomiarów drgań skrętnych oraz metody ich pomiaru wraz z ich wadami i zaletami.

W rozdziale trzecim na podstawie dostępnej literatury dokonano oceny stanu zagadnienia wykorzystania sygnału skręcenia wału do celów diagnostycznych. Autor doszedł do wniosków, że:

a) ruch obrotowy walu korbowego jest nośnikiem informacji zawartej w wykresie indykatorowym,
b) jeżeli badania autora pracy wykażą reakcję wartości amplitud poszczególnych składowych harmonicznych lub fragmentów widm drgań skrętnych mierzonych czujnikami optycznymi na wprowadzane uszkodzenia to wówczas ich diagnostyczna przydatność będzie nie do przecenienia.

Finalnie może być to podstawą do wykorzystania czujników optycznych w praktyce eksploatacyjnej do celów diagnostycznych (silników tłokowych małych, średnich, dużych i wielkich mocy), zarówno na statkach konwencjonalnych jak i autonomicznych.

W rozdziale czwartym określono tezę i hipotezy naukowe pracy oraz cel pracy:

Celem pracy jest zbadanie czy jest możliwa diagnostyka wybranych uszkodzeń okrętowego silnika tłokowego, w oparciu o analizę porównawczą składowych harmonicznych drgań skrętnych wału ZSE mierzonych czujnikami optycznymi.

W rozdziale piątym opisano skład stanowiska badawczego czyli obiekt badań i użytą aparaturę pomiarową ze szczególnym uwzględnieniem badawczego systemu pomiarowego drgań skrętnych wału opartego na czujnikach optycznych.

W rozdziale szóstym przedstawiono przebieg badań stanowiskowych oraz założenia eksperymentu i plan badań. Plan badań składał się z sześciu zadań i dotyczył pomiarów ciśnień w cylindrach, w układzie wtrysku paliwa i drgań skrętnych wału ZSE w stanie pełnej zdatności i w stanach częściowej zdatności-z wprowadzonymi niesprawnościami.

W rozdziale siódmym opisano metodę sporządzenia widm oraz określono liczności próby. Wykonano analizy porównawcze składowych harmonicznych drgań skrętnych wału ZSE w stanach pełnej i częściowej zdatności na podstawie klasycznego współczynnika zmienności.

W rozdziale ósmym sporządzono studium wykonalności statystyk parametrycznych i nieparametrycznych otrzymanych widm. Widma drgań skrętnych nie posiadły rozkładu normalnego w związku z powyższym przeprowadzono próby ich normalizacji za pomocą transformacji pierwiastkiem i logarytmem dziesiętnym. Na postawie studium wykonano statystyki parametryczne ANOVA i Dunnetta oraz nieparametryczne ANOVA Kruskala-Wallisa widm dla ZSE w stanach pełnej i częściowej zdatności.

W rozdziale dziewiątym dokonano podsumowania przedstawiając ogólną charakterystykę osiągniętych wyników, poznawcze wyniki badań, utylitarne wyniki badań, proponowane kierunki dalszych prac. Autor doszedł do wniosku, że uzyskane rezultaty badań pozwalają na stwierdzanie, że cel pracy został osiągnięty. W rozdziale 6 potwierdzono tezę, niniejszej pracy która zakładała, że możliwy jest pomiar drgań skrętnych wału ZSE w oparciu o czujniki optyczne zmodyfikowanego Systemu Wspomagającego Kontrolę Napędu Statku ETNP-10. W rozdziałach 7 i 8 udowodniono hipotezę która zakładała, że składowe harmoniczne drgań skrętnych wału ZSE mierzonych czujnikami optycznymi różnią się miedzy sobą w zależności od stanu zdatności ZSE i zawierają informację diagnostyczną o stanie technicznym elementów układów wtryskowego i doładowania. W podrozdziale 7.2 udowodniono, hipotezę, że analiza porównawcza składowych harmonicznych drgań

skrętnych wału ZSE mierzonych czujnikami optycznymi pozwala wyłonić symptomy diagnostyczne przydatne w rozpoznawaniu wybranych uszkodzeń elementów układów wtryskowego i doładowania. Po przeprowadzonej analizie otrzymanych sekwencji wartości logicznych różnic parametrów (d - d_n) dla poszczególnych składowych harmonicznych badanych stanów zdatności silnika ZSE stwierdzono, że możliwa jest identyfikacja stanów zdatności silnika za pomocą sekwencji zawierającej się w zakresie częstotliwościowym od składowej harmonicznej pierwszego (12,5 Hz) do piątego rzędu (62,5 Hz). W tabelach od 7.5 do 7.13 te zakresy uwidoczniono za pomocą pogrubienia obramowania fragmentu tabeli.

Wykonane w rozdziale 9 parametryczne i nieparametryczne testy statystyczne wykazały występowanie i niewystępowanie istotnych różnic statystycznych pomiędzy badanymi próbami i odpowiadającymi im stanom zdatności. Najlepsze reakcje na wprowadzane niesprawności wykazały nieparametryczne testy kolejności par Wilcoxona wykonane dla obciążenia 250 kW. Dotyczyło to widm:

a) składowej harmonicznej 6,25 Hz,
b) ograniczonych do składowej harmonicznej 12. rzędu.

Były one w stanie ujawnić niesprawności wprowadzone w układzie wtryskowym. Otrzymane wartości Z były rożne dla poszczególnych niesprawności.

Uzyskane wyniki, nie dostarczyły jednak jednoznacznych informacji na temat częstości występowania nierównomierności biegu silnika (Tabela7.2). Dokładna częstość występowania tych anomalii w poszczególnych kolejnych cyklach pracy silnika ZSE, na obecnym etapie badań jest niemożliwa do wychwycenia. Przedstawiono dalsze kierunki prac w celu możliwości ich wykrycia oraz w celu zwiększenia dokładności czestotliwosciowej otrzymanych widm.

W pracy używano tylko jednego spektrogramu DFT opartego o algorytm Cooley-Tukeya stosującego wygładzające okno Hamminga, celowym jest sprawdzenie jak na rozkład widm wpłynie zastosowanie innych okien.

Na silniku ZSE wprowadzano niesprawności o zauważalnym wpływie na jego parametry pracy, wskazane jest przeprowadzenie pomiarów dla niesprawności o różnym stopniu rozwoju, celem określenia:

a) minimalnych wartości progowych dla których możliwe jest wychwycenie różnic w otrzymywanych widmach np. dla rozpylacza wtryskiwacza ze zwiększaną liczbą zakoksowanych otworów wtryskowych,

b) ich wpływu na przedziały otrzymanych wartości statystyk testowych (Z, p),
c) przedziałów wartości współczynnika zmienności V_s,
d) wyznaczenia trendów zmian.

Powyższe będzie stanowiło podstawę do opracowania modeli matematycznych opisujących powiązania między rozwojem niesprawności a wskazanymi w pracy symptomami diagnostycznymi.