

Praca nr 5

Ocena możliwości zastosowania analizy FMEA do identyfikacji uszkodzeń wybranego urządzenia

W niniejszej pracy opisano proces tworzenia formularza analizy przyczyn i skutków wad (*Failure Mode and Effects Analysis*) na przykładzie nastawnej śruby okrętowej użytej w sterze strumieniowym. Zakres pracy obejmuje wprowadzenie do dziedziny zarządzania jakością wraz z obszernym opisem zasad, historii, możliwości implementacji omawianej analizy ryzyka. Dość szczególny nacisk przyłożono do opisu wykorzystanych technik wspierających proces powstawania arkusza.

Kolejno przedstawiono rodzaje pędników okrętowych ze szczególnym naciskiem na śruby nastawne oraz wskazano typowe konstrukcje używane w sterach strumieniowych. W dalszej części, wyszczególniono typowe awarie występujące w omawianym urządzeniu. Zwieńczeniem pracy było opracowanie formularza analizy FMEA. Ze względu na ograniczenia obszerności pracy, opisano wyłącznie przykłady określania kolejnych składowych ryzyka dla poszczególnych składowych systemu śruby nastawnej.

Efektem pracy jest kompletny arkusz analizy ryzyka, na podstawie którego zaproponowano działania projakościowe dla rozważanego systemu wraz z wnioskami wynikającymi z przebiegu analizy FMEA. Praca ta miała szczególne znaczenie, ponieważ analiza została wykonana na rzeczywistym obiekcie, co umożliwiło lepsze zrozumienie metody i bardziej precyzyjne zastosowanie jej w praktyce. Przy tworzeniu analizy zwrócono szczególną uwagę na ogólną poprawę jakości produktu oraz istotne aspekty związane z jego bezpiecznym funkcjonowaniem.

Z uwagi na posiadanie doświadczenie zawodowe autora pracy w branży napędów okrętowych, zdecydowano się na wykorzystanie metody do zdiagnozowania potencjalnych wad i poprawy niezawodności nastawnej śruby okrętowej użytej w sterze strumieniowym. W celu przeprowadzenia analizy ryzyka wykorzystano informacje zebrane z historycznych danych serwisowych oraz skorzystano z metod heurystycznych. Opis typowych wad występujących w mechanizmie śruby nastawnej zrealizowano dzięki doświadczeniu autora w naprawach i obsłudze podobnych jednostek. Ponadto, sugerowano się także najczęstszymi awariami, które wyszczególnione są w literaturze. Dodatkowo, przedstawiono ilustracje pokazujące poszczególne uszkodzenia, które zdiagnozowano na rzeczywistych obiektach.

W ramach przeglądu literatury uwzględniono dwie główne kategorie zagadnień. Pierwsza z nich dotyczyła przede wszystkim urządzeń sterowych oraz pędników okrętowych, a także publikacji związanych z eksploatacją i naprawami maszyn, które stanowiły przedmiot niniejszej pracy. Druga kategoria obejmowała literaturę wprowadzającą w zagadnienie zarządzania jakością, branżowe publikacje opisujące poszczególne etapy przeprowadzania analizy FMEA, a także te, które przedstawiały kreowanie formularzy na przykładach. Ponadto, cenne informacje dostarczyły także publikacje opisujące dziedzinę, ale ze szczególnym uwzględnieniem przydatności w pracy inżyniera.

Celem pracy było przedstawienie praktycznego zastosowania metody FMEA na przykładzie wybranego, rzeczywistego urządzenia.

W ubiegłym stuleciu rozumiano, że osiągnięcie przewagi konkurencyjnej wymaga wyróżnienia produktu i skupienia się na jego jakości. To doprowadziło do kształtowania zarządzania jakością, początkowo opartego na metodach statystycznych. Okres powojenny w Japonii przyniósł wzrost dzięki podejściu projakościowemu, co zainspirowało inne przedsiębiorstwa do zrozumienia znaczenia jakości.

Jakość jest trudnym do zdefiniowania pojęciem, ale można ją opisać jako stopień dostosowania produktu lub procesu do wymagań klienta. Zarządzanie jakością obejmuje wszystkie działania mające na celu zapewnienie spełnienia wymagań jakościowych.

Metoda FMEA (Failure Mode and Effects Analysis) jest używana do analizy ryzyka i identyfikacji potencjalnych wad. Istnieje wiele rodzajów FMEA, takich jak DFMEA (Design FMEA), skupiająca się na wadach konstrukcyjnych, PFMEA (Process FMEA), analizująca procesy produkcyjne, oraz inne zorientowane na różne sektory.

Celem FMEA jest odpowiedzenie na pytania, co może pójść nie tak, jakie będą skutki niezgodności oraz jakie są przyczyny i skutki potencjalnych wad. Metoda ta pomaga w identyfikacji i eliminacji wad na wczesnych etapach projektowania lub produkcji.

FMEA może być używana interdyscyplinarnie, na przykład w procesach produkcyjnych (PFMEA) lub przy projektowaniu (DFMEA). Pomaga w obiektywnej ocenie wymagań projektowych, identyfikuje potencjalne awarie oraz uszeregowuje je według priorytetów. Metoda ta ma wiele zalet, takich jak zwiększenie wydajności produkcji, obniżenie ilości odpadów, zwiększenie satysfakcji klienta i poprawa bezpieczeństwa.

Podmiotem analizy jest ster strumieniowy, czyli urządzenie umożliwiające zmianę kierunku ruchu statku za pomocą strumienia wody skierowanego prostopadle do osi jednostki. W pracy przedstawiono jego budowę i funkcje oraz wyjaśniono, że stosuje się go głównie do

manewrowania statkiem przy cumowaniu, odbijaniu od brzegu i poruszaniu się na akwenach o małej powierzchni.

Ster strumieniowy jest zaliczany do urządzeń pomocniczych i działa najlepiej przy niskich prędkościach statku. W ostatnich dziesięcioleciach, ze względu na rozwój dziedziny offshore, urządzenia takie jak ster strumieniowy znalazły zastosowanie jako składowe głównego systemu napędowego na niektórych jednostkach. W takich przypadkach stosuje się systemy dynamicznego pozycjonowania, które umożliwiają utrzymanie stałej pozycji na morzu w różnych warunkach.

Następnie omówiono budowę śruby okrętowej o stałym skoku, która jest najczęściej stosowanym rodzajem napędu w konstrukcjach okrętowych. Śruby te charakteryzują się prostą konstrukcją, wysoką sprawnością i niezawodnością. Opisano także wpływ średnicy piasty śruby, ilości płatów na wibracje układu, które w głównej mierze wpływają na sprawność pędnika oraz potencjalne uszkodzenia.

Kolejno opisano śruby o skoku nastawnym, które są bardziej zaawansowane technologicznie niż śruby o stałym skoku. Śruby nastawne pozwalają na regulację kąta natarcia płatów, co umożliwia lepsze dostosowanie wytwarzanej siły naporu w zmiennych warunkach żeglugi. Opisano różne typy mechanizmów zmiany skoku płatów w śrubach nastawnych, takie jak mechanizm kulisowy z czopem w podstawie płata lub dysku korbowego.

Przedstawiono także warunki pracy i materiały stosowane w śrubach okrętowych. Medium roboczym jest olej hydrauliczny, który musi spełniać określone kryteria, m. in. takie jak stabilność lepkości w różnych temperaturach i ochronę antykorozyjną. Materiały używane do produkcji śrub okrętowych to głównie stopy miedzi lub stal nierdzewna, w zależności od zastosowania i warunków pracy (żegluga po wodach arktycznych).

Po dekompozycji opisywanej śruby nastawnej w sterze strumieniowym, opisano typowe uszkodzenia dla poszczególnych elementów. Wady płatów śruby okrętowej, powstałe wskutek kontaktu z ciałami obcymi, kawitacji, zmęczenia materiału i korozji, wymagają naprawy, np. poprzez spawanie lub napawanie. Towarzystwa klasyfikacyjne wymagają by naprawy te miały przeprowadzone badania nieniszczące, takie jak badania penetracyjne lub ultradźwiękowe w celu weryfikacji poprawności regeneracji.

Korpus piasty, dyski korbowe i kamienie ślizgowe mogą również ulec uszkodzeniom, takim jak pitting czy zużycie tribologiczne. Ich naprawa w głównej mierze wymaga obróbki skrawaniem lub tulejowania.

Regularna konserwacja i kontrola stanu wszystkich tych elementów są niezbędne, aby zapewnić prawidłową pracę śruby okrętowej i bezpieczeństwo jednostki morskiej.

W części badawczej/analytycznej opisano przebieg analizy FMEA zrealizowanej na potrzeby pracy dyplomowej. Na wstępie założono, że przeprowadzona zostanie dla produktu już będącego w zaawansowanym stadium jego życia – fazie eksploatacji. Fakt ten determinował konkretne podejście do typowania możliwych niezgodności, ponieważ m.in. raporty serwisowe dostarczyły wielu cennych informacji. Celem przeprowadzania analizy było określenie wszelakich wad urządzenia w ujęciu funkcjonowania całego systemu, co prowadzi do możliwości ich eliminacji lub udoskonalień produktu. Ponadto, jej wyniki mogą posłużyć przy tworzeniu nowego produktu. Założono również, że analiza nie będzie skupiała się na zmianach konstrukcji śruby okrętowej, lecz na możliwościach doskonalenia procesu weryfikacji, remontu i eksploatacji. Analiza ryzyka w głównej mierze obejmowała wyszczególnienie potencjalnych niezgodności systemu nastawnej śruby okrętowej. Na ich podstawie określono składowe ryzyka, które pozwoliły na obliczenie liczby priorytetowej ryzyka wg poniższej zależności:

$$RPN = SEV \cdot OCC \cdot DET,$$

gdzie:

SEV – bezwymiarowa wielkość wpływu niezgodności na jakość produktu,

OCC – prawdopodobieństwo wystąpienia niezgodności,

DET – prawdopodobieństwo wykrycia wady.

Uzeregowanie potencjalnych wad zgodnie z wyliczoną wcześniej wartością ryzyka pozwoliło na wskazanie najbardziej krytycznych wad i zaproponowanie działań mających za zadanie zredukować poziom ryzyka, co w dalszej perspektywie przekłada się na podwyższenie ogólnej jakości i niezawodności urządzenia.