

kpt. mgr inż. Mateusz Oszczypała

„Modelowanie niezawodności i gotowości pojazdów ciężarowo-osobowych funkcjonujących w wojskowych systemach transportowych”

STRESZCZENIE

W rozprawie doktorskiej przeprowadzono badania procesu eksploatacji pojazdów jako obiektów będących na wyposażeniu wojskowych systemów transportowych. Szczegółowej analizie poddano podstawowe miary procesu eksploatacji, w zbiorze których znajdują się niezawodność i gotowość. Głównym celem pracy było opracowanie modeli probabilistycznych i symulacyjnych, które mogą być wykorzystane do oceny procesu eksploatacji pojazdów na podstawie wskaźników niezawodności i gotowości. W celu odtworzenia empirycznego przebiegu podprocesów użytkowania, obsługiwanie oraz napraw opracowano dwie bazy danych obejmujących próby o liczebnościach wynoszących odpowiednio 19 i 55 pojazdów z uwzględnieniem 3-letniego oraz 5-letniego okresu badań. Najliczniej reprezentowaną marką w grupie 1-szej struktury parku samochodowego (pojazdy ciężarowo-osobowe) był pojazd marki Honker 2000. Główne źródło informacji stanowiła dokumentacja eksploatacyjna obejmująca rozkazy wyjazdu, karty usług technicznych, plany eksploatacji i protokoły stanu technicznego. Podstawę rozprawy doktorskiej stanowi cykl sześciu powiązanych tematycznie publikacji naukowych, omówionych poniżej.

Analiza niezawodności i gotowości pojazdu ciężarowo-osobowego uwzględnia przedmiot badań postrzegany w trzech aspektach. Po pierwsze jako obiekt techniczny, po drugie jako system techniczny złożony z głównych podsystemów oraz po trzecie jako komponent (element) systemu transportowego. W modelach matematycznych opartych o rachunek prawdopodobieństwa i statystykę matematyczną po odtworzeniu badanego procesu eksploatacji oblicza się empiryczne jego miary. W pracy [P1] wykorzystując estymator Kaplana-Meiera wartości funkcji niezawodności zostały obliczone jako prawdopodobieństwa prawidłowej pracy obiektu. Następnie aproksymowano modele wykładnicze i Weibulla w celu wyznaczenia pozostałych charakterystyk niezawodnościowych z uwzględnieniem intensywności użytkowania wyrażanej jako przebieg pojazdu.

W pracach [P2, P3, P4] w dziedzinie czasu eksploatacji do oceny i analizy niezawodności i gotowości pojazdów opracowano modele semi-Markowa o zróżnicowanej przestrzeni stanów. Na podstawie prawdopodobieństw ergodycznych dla modeli 4- i 9-stanowych opisujących proces

eksploatacji obliczono wartości wskaźników gotowości, które mieściły się w wąskim zakresie wynoszącym 0,90-0,91. Na podstawie analizy procesu stwierdzono, że stan oczekiwania na naprawę najbardziej obniża gotowość i zdatność pojazdów. Z tego względu przeprowadzono analizę wrażliwości 9-stanowego modelu semi-Markowa, która wykazała, że redukcja czasu oczekiwania na naprawę o 50% spowodowałaby wzrost wskaźników gotowości i zdatności o około 0,04. Usprawnienie czynności administracyjnych i logistycznych, takich jak pozyskiwanie części zamiennych i materiałów eksploatacyjnych, pozwoliłoby skrócić oczekiwany czas przebywania pojazdów w stanie niezdatności. W efekcie wskaźnik gotowości pojazdów ciężarowo-osobowych spełniłby wymagania stawiane obiektom i systemom wojskowym na poziomie 0,95.

Model 4-stanowy został zastosowany do określenia wpływu intensywności użytkowania na gotowość pojazdu. W tym celu opracowano algorytm symulacyjny bazujący na wielokrotnym próbkowaniu metodą Monte Carlo. Wyselekcjonowano najlepiej dopasowane charakterystyki probabilistyczne poszczególnych podprocesów służące do przeprowadzenia symulacji dla 16 opracowanych modeli Monte Carlo. Wyniki algorytmu symulacyjnego zostały zweryfikowane na podstawie rezultatów modelu semi-Markowa. Następnie najlepiej dopasowany model Monte Carlo został zastosowany do analizy wrażliwości, w której określono wpływ wartości prawdopodobieństwa przydziału zadania transportowego dla pojazdu oraz oczekiwanego dziennego przebiegu na wskaźniki gotowości i zdatności technicznej. Wyniki analizy wykazały, że zwiększenie prawdopodobieństwa przydziału zadania transportowego o wartość 0,01 spowodowało zmniejszenie wartości wskaźników o około 0,002. Natomiast wzrost wartości oczekiwanej dobowego przebiegu o 1 km spowodował nieznaczną redukcję wartości wskaźników gotowości i zdatności technicznej wynoszącą zaledwie 0,0008. Zatem główną zaletą modelu symulacyjnego okazała się zdolność do badania efektywności procesu eksploatacji pojazdów dla różnych poziomów intensywności użytkowania.

W kolejnym etapie badań [P5] opracowano szeregową strukturę niezawodności pojazdu, zbudowaną z siedmiu głównych podsystemów, tj. silnika, układu przeniesienia napędu, układu hamulcowego, układu kierowniczego, zawieszenia, instalacji elektrycznej oraz nadwozia. Na podstawie dokumentacji dla próby liczącej 55 pojazdów marki Honker 2000 z 5-letniego okresu eksploatacji opracowano bazę danych zawierającą 575 kompletnych interwałów pomiędzy uszkodzeniami i 647 obserwacji cenzorowanych¹. Dla każdego podsystemu aproksymowano

¹ Obserwacje cenzorowane - wartości danej zmiennej, które nie są w pełni znane w momencie zakończenia badania.

dystrybucje rozkładów granicznych czasów i przebiegów pomiędzy uszkodzeniami. Następnie wykorzystano je do wyznaczenia funkcji niezawodności w dwuwymiarowej dziedzinie za pomocą probabilistycznych kopuł Claytona. Następnie zmodyfikowane miary ważności niezawodnościowej zastosowano do identyfikacji podsystemów, które najbardziej obniżają niezawodność pojazdu jako systemu technicznego. Miara ważności Birnbauma oraz miara krytyczna wskazały silnik i instalację elektryczną jako podsystemy najbardziej awaryjne odpowiednio dla 29 i 6 punktów pomiarowych dwuwymiarowej dziedziny funkcji niezawodności. Natomiast miara ważności Barlowa-Proschana określiła najbardziej istotne podsystemy dla całej dziedziny czasu eksploatacji i przebiegu pojazdu, którymi były: silnik, układ przeniesienia napędu oraz instalacja elektryczna.

Ostatnim etapem badań [P6] była analiza gotowości systemu transportowego, zbudowanego z jednorodnych pojazdów reprezentujących progową strukturę niezawodnościową typu k z n . System transportowy obsługuje zmienny w czasie strumień zadań, który opisano za pomocą rozkładu logistycznego. Do opisu zmian stanów niezawodnościowych systemu opracowano model Markowa o $n + 1$ stanach. Parametrami wpływającymi na zmianę stanów systemu były intensywności uszkodzeń oraz intensywności napraw pojazdów. Do oceny działania systemu zaproponowano wskaźniki gotowości i efektywności, określające prawdopodobieństwa realizacji zadań transportowych wpływających do systemu. Wartości wskaźników zostały obliczone dwutorowo, tj. stosując podejścia: probabilistyczne i symulacyjne. W przypadku obu wspomnianych metod otrzymano zgodność osiągniętych rezultatów, co spowodowało zmniejszenie ryzyka popełnionego błędu, a tym samym potwierdziło poprawność ich zastosowania. W wyniku analizy możliwości optymalizacji poziomów redundancji strukturalnej systemu wykazano, że przy redukcji floty transportowej z 19 do 10 pojazdów, gotowość i efektywność systemu utrzymuje wymagane poziomy wynoszące 0,95, przy jednoczesnym obniżeniu kosztów budowy i eksploatacji systemu aż o 47%. Ponadto zgodnie z analizą wrażliwości zoptymalizowanego systemu transportowego, przy utrzymaniu bieżącej intensywności napraw, nawet 10-krotny wzrost intensywności uszkodzeń nie spowodowałby obniżenia wartości wskaźników poniżej 0,90.

Opracowane w pracy metody i modele wraz z uzyskanymi wynikami analiz stanowią wartość dodaną w obszarze badanego procesu eksploatacji. Jej podstawowe miary rozumiane jako niezawodność i gotowość obiektów oraz systemów technicznych wpisują się w dziedzinę nauk

inżynieryjno-technicznych. Ponadto stanowią oryginalny wkład Autora w dyscyplinę naukową inżynieria mechaniczna. Zaprezentowane wieloaspektowe podejścia, których efektem jest cykl sześciu opublikowanych prac naukowych uzupełniają stan literatury pod względem merytorycznym, metodologicznym i przedmiotowym. Szczegółowe opisy założeń, metodologii, wyników i analiz zostały opublikowane w ramach cyklu wydawniczego zawierającego 6 powiązanych tematycznie artykułów naukowych (Tab. 1.1) opublikowanych w międzynarodowych czasopismach z listy Journal Citation Reports (JCR).