

XVII Konferencja Naukowo-Techniczna

TKI2024

TECHNIKI KOMPUTEROWE W INŻYNIERII

15-18 października 2024

Analiza danych nt. awarii w celu oszacowania oraz optymalizacji wskaźników dostępności i niezawodności przy użyciu metod statystycznych i stochastycznych

Jakub Konwerski¹, Mateusz Oszcypała¹, Jarosław Ziółkowski¹, Aleksandra Łęgas¹

¹ Wydział Inżynierii Mechanicznej, Wojskowa Akademia Techniczna

email: jakub.konwerski@wat.edu.pl, mateusz.oszcypala@wat.edu.pl, jaroslaw.ziolkowski@wat.edu.pl, aleksandra.legas@wat.edu.pl

STRESZCZENIE: Celem niniejszego artykułu jest analiza i porównanie metod statystycznych i stochastycznych stosowanych do oceny wybranych wskaźników dostępności i niezawodności obiektów technicznych. Zaproponowane metody zastosowano do rzeczywistych systemów transportowych, dla których opracowano modele o parametrach estymowanych na podstawie danych empirycznych nt. uszkodzeń. Przestrzeń fazowa badanego procesu została odwzorowana za pomocą autorskiego 7-stanowego skierowanego grafu procesu eksploatacji. W oparciu o łączny czas przebywania obiektów w poszczególnych stanach eksploatacyjnych obliczono wskaźniki niezawodności i gotowości. Do rozwiązania problemu badawczego zaproponowano zastosowanie procesów semi-Markowa. Dowiedziono, że skrócenie czasu trwania niepożądanego stanu z punktu widzenia procesu eksploatacji ma znaczący wpływ na optymalizację systemu. Finałnym etapem badań było porównanie wartości oszacowanych wskaźników przy wykorzystaniu proponowanych metod. Udowodniono, że można zidentyfikować składowe mające wpływ na poprawę wskaźników gotowości i niezawodności oraz poprzez zmianę ich charakterystyk dokonać optymalizacji systemu. Obliczone dwoma metodami wskaźniki gotowości i niezawodności przyjmują zbliżone wartości.

SŁOWA KLUCZOWE: niezawodność, dostępność, optymalizacja, procesy semi-Markowa, pojazdy wojskowe.

1. Przedmiot i zakres pracy

Podstawą do właściwego i skutecznego kierowania w systemach eksploatacji obiektów technicznych jest prawidłowa analiza i ocena zachodzących w nim procesów. Niezawodność i gotowość techniczna pojazdów są jednymi z głównych determinantów efektywności działania nowoczesnych, zaawansowanych systemów transportowych.

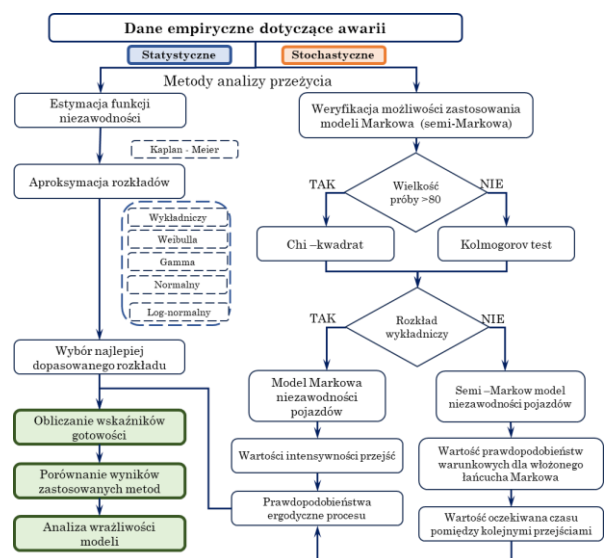
Przedmiotem niniejszej pracy jest implementacja i porównanie przydatności metod statystycznych i stochastycznych do oceny gotowości i niezawodności obiektów technicznych. Zaproponowane podejście stanowi rozwinięcie i uzupełnienie istniejących analiz w aspekcie ich zastosowań do obszaru nauk inżynieryjno-technicznych [1], [2]. Skonstruowano autorski algorytm analizy niezawodności obiektów technicznych. Zaproponowano w nim metodykę badań niezawodnościowych opartą na analizie uszkodzeń, która ogranicza koszty związane z przeprowadzaniem drogich badań eksperymentalnych lub czasochłonnym symulacji. Wyniki analiz pozwalają na ocenę niezawodności i gotowości pojazdów, która odzwierciedla techniczny aspekt efektywności funkcjonowania środków transportu. Zaproponowana metoda umożliwia wskazanie możliwych składowych wpływających na poprawę wskaźników gotowości.

2. Metodologia

W oparciu o dane empiryczne nt. procesu eksploatacji rzeczywistego systemu transportowego wykorzystywanego przez Siły Zbrojne RP, porównano dwie metody

wykorzystywane do analizy niezawodności obiektów technicznych.

Jak pokazano na rys. 1 badanie charakterystyk niezawodności przy wykorzystaniu metod statystycznych rozpoczyna się od estymacji funkcji niezawodności. Następnie przy wykorzystaniu modeli analitycznych, wykonuje się jej aproksymację. Kolejnym krokiem jest obliczenie wskaźników gotowości [3], [4].



Rys. 1. Schemat blokowy modelowania niezawodności

Analiza niezawodności przy użyciu metod stochastycznych rozpoczyna się od sprawdzenia

możliwości zastosowania modelu Markowa lub semi-Markowa, tj. weryfikacji wykładniczego rozkładu charakterystyk czasowych. W tym celu przeprowadza się test Kolmogorov-Smirnov (dla próby mniejszej niż 80) lub test χ^2 . W przypadku rozkładu wykładniczego stosuje się model Markowa, dla którego oblicza się wartości intensywności przejść międzystanowych. Używając modelu semi-Markowa wyznacza się wartość prawdopodobieństw warunkowych przejść dla włożonego łańcucha Markowa i wartość oczekiwaną czasu pomiędzy kolejnymi przejściami. Następnie oblicza się wartości prawdopodobieństw ergodycznych włożonego łańcucha Markowa. Wynikiem badań jest zidentyfikowany podzbiór stanów gotowości technicznej oraz określenie wartości gotowości obiektu technicznego [5], [6]. Walidacja obydwu metod odbywa się za pomocą porównania otrzymanych wyników wskaźników niezawodności i gotowości. Po pozytywnej walidacji zakłada się przeprowadzenie analizy otrzymanych wyników.

3. Wyniki

Na podstawie analizy statystycznej uszkodzeń obiektów oszacowano wskaźniki niezawodności i gotowości, które umożliwiają monitorowania efektywności działania systemu transportowego.

Badane pojazdy ciężarowe charakteryzują się wysoką niezawodnością, co wyraża się w relatywnie długim czasie bezawaryjnej pracy tj. MTBF = 268.11 [dni]. Na obniżenie wskaźników niezawodności systemu w największym stopniu wpływa wskaźnik MTTT wynoszący 11.8 [dni], pozostałe 2 wskaźniki MTTD i MTTR mają znacząco mniejsze oddziaływanie na niezawodność pojazdów.

Zaproponowany w artykule algorytm tworzenia modelu z wykorzystaniem procesów Markowa i semi-Markowa został zaimplementowany do procesu eksploatacji samochodów ciężarowych typu Iveco Stralis. W oparciu o analizę empirycznego procesu eksploatacji zidentyfikowano 7 stanów przestrzeni fazowej. Na podstawie weryfikacji rozkładów wykładniczych charakterystyk czasowych, przy użyciu testu Kolmogorowa-Smirnowa potwierdzono konieczność zastosowania procesu semi-Markowa. Bazując na rzeczywistych danych dokonano estymacji wartości macierzy warunkowych prawdopodobieństw przejść międzystanowych włożonego łańcucha Markowa. Następnie rozwiązując równanie macierzowe obliczono wartości prawdopodobieństw ergodycznych służące do określenia wskaźników dostępności.

Podsumowując metody statystyczne pozwalają jedynie na ocenę dostępności systemu bez wskazywania możliwych kierunków jego poprawy. Jednakże wykazano, że skrócenie czasu stanu S_6 o 40% powoduje poprawę wartości wskaźnika k_{gt} o 0.017 i osiągnięcie wartości 0.951.

Z kolei zastosowanie procesów semi-Markowa umożliwia dokładne odwzorowanie rzeczywistego przebiegu zmian stanów w zidentyfikowanej przestrzeni fazowej. Model semi-Markowa jest użyteczny w kontekście analizy procesu pod względem identyfikacji przyczyn obniżenia wskaźników gotowości. Wykazano znaczący wpływ oczekiwanego czasu przebywania w stanie S_6 (oczekiwanie na części zamienne) jako kluczowy czynnik znacznego obniżenia się wartości wskaźnika K_{gt} w stosunku do wartości wskaźnika K_{gw} . Porównując uzyskane wyniki

za pomocą dwóch metod, uzyskano różnice wartościach wskaźników przebywania w stanach eksploatacyjnych w zakresie -1.7% do 11.4%. Uzyskane różnice w interpretacji metodami statystycznymi i stochastycznymi polegają na tym, że współczynniki gotowości k_{gt} i k_{gw} odzwierciedlają wyniki dla badanej próby. Wartość wskaźników gotowości K_{gt} i K_{gw} jest teoretyczna i oznacza prawdopodobieństwo w nieskończoności, do którego jest według prognoz będzie dążył współczynnik gotowości.

4. Podsumowanie

Rozpatrywany problem badawczy dotyczył oceny i optymalizacji niezawodności oraz gotowości systemów transportowych w oparciu o rzeczywiste dane o awariach. Uzyskane wyniki badań umożliwiły sformułowanie następujących wniosków:

- 1) Optymalizacja systemu transportowego poprzez skrócenie czasu przebywania w stanach niepożądanych ma kluczowe znaczenie dla poprawy wskaźników niezawodności i gotowości.
- 2) Zastosowanie procesów semi-Markowa umożliwia bardziej realistyczne modelowanie procesów eksploatacyjnych w porównaniu do klasycznych modeli statystycznych.
- 3) Analiza porównawcza udowodniła, że wskaźniki niezawodności i gotowości uzyskane metodami statystycznymi i stochastycznymi są zbieżne, co potwierdza zasadność zastosowanej metodologii.
- 4) Zaproponowana w niniejszym artykule metodologia jest uniwersalnym narzędziem, które może być użyteczne w analizie i ocenie eksploatacji dowolnych obiektów technicznych.
- 5) Wyniki badań wskazują na konieczność dalszego rozwoju i wdrażania zaawansowanych metod modelowania, które uwzględniają zmienność czasów eksploatacyjnych i dynamiczne warunki operacyjne, aby zwiększyć niezawodność i gotowość systemów technicznych.

Na podstawie przeglądu literatury należy stwierdzić, że praca wprowadza nowatorskie podejście, przedstawiając walidację modelowania stochastycznego w oparciu o wyniki metod statystycznych. Ponadto analiza uzupełnia lukę przedmiotową w postaci braku implementacji modeli semi-Markowa do odzwierciedlenia procesu eksploatacji pojazdów ciężarowych.

Literatura

- [1] Borucka A. i in., *Forecasting the readiness of special vehicles using the semi-Markov model*, Eksploat. Niezawodn. - Maint. Reliab., vol. 21, no. 4, pp. 662–669, 2019.
- [2] Barbui V. S. in., *Sequential Interval Reliability for Discrete-Time Homogeneous Semi-Markov Repairable Systems*, Mathematics, vol. 9, no. 16, p. 1997, 2021.
- [3] Barlow R. E., Proschan F., *Mathematical Theory of Reliability*, SIAM, Philadelphia 1996.
- [4] Pham H., *Handbook of reliability engineering*, Springer, London 2003.
- [5] Oszczypała M. i in., *Analysis of Light Utility Vehicle Readiness in Military Transportation Systems Using Markov and Semi-Markov Processes*, Energies, vol. 15, no. 14, p. 5062, 2022.
- [6] Farahani A. i in., *Markov and semi-Markov models in system reliability*, Engineering Reliability and Risk Assessment, pp. 91–130, 2023.