

Zygmunt KRUK

Military Institute of Armoured and Automotive Technology (Wojskowy Instytut Techniki Panczernej i Samochodowej)

WYBRANE ASPEKTY WYZNACZANIA GOTOWOŚCI TECHNICZNEJ SAMOCHODÓW W SYSTEMIE TRANSPORTOWYM Z OCZEKIWIANIEM NA FUNKCJONOWANIE

The selected aspects of determining the technical readiness of cars in a transport system scheduled to be operated

Streszczenie: *Opracowanie dotyczy wyznaczania gotowości technicznej samochodów eksploatowanych w systemie transportowym z oczekiwaniem na funkcjonowanie. W taki sposób eksploatowane są samochody w systemach likwidacji klęsk żywiołowych czy wojskowym. Wyznaczanie gotowości pojazdów według średniej liczby uszkodzeń bez uwzględnienia intensywności ich użytkowania oraz przebiegu od początku eksploatacji uniemożliwia dokładną ocenę gotowości technicznej poszczególnych pojazdów na daną chwilę. W artykule autor przedstawia próbę uzasadnienia tezy, że wyznaczanie gotowości operacyjnej pojazdów w szczególności eksploatowanych z oczekiwaniem, obejmując gotowość funkcjonalną i gotowość zadaniową, wymaga monitorowania uszkodzeń w czasie dla każdego eksploatowanego pojazdu z osobna.*

Słowa kluczowe: gotowość techniczna, samochody, proces eksploatacji z oczekiwaniem, intensywność użytkowania, niezawodność, prognozowanie

Abstract: *This paper is focused on determining the technical readiness of cars in a transport system scheduled to be operated. In this way, cars are used in natural or military disaster recovery systems. Determining the technical readiness according to the average number of defects without taking account of the intensity of using them and mileage at the beginning of operation prevents from making a detailed assessment of the technical readiness of particular cars up to date. This manuscript attempts to prove a thesis that determining the operational readiness of cars, especially those scheduled to be operated, including functional and task readiness, requires monitoring of damages in time separate for every car.*

Keywords: technical readiness, cars, scheduled operation process, usage intensity, reliability, forecasting

1. Introduction

W czasie funkcjonowania pojazdu dominuje destrukcja jego elementów jako wynik oddziaływania czynników zmęczeniowych i tarciovych, zaś podczas oczekiwania na funkcjonowanie jest to destrukcja na skutek korozji pod wpływem czynników otoczenia [10]. Skutkiem obu tych procesów jest uszkodzenie pojazdu i przejście w stan niezdatny do funkcjonowania.

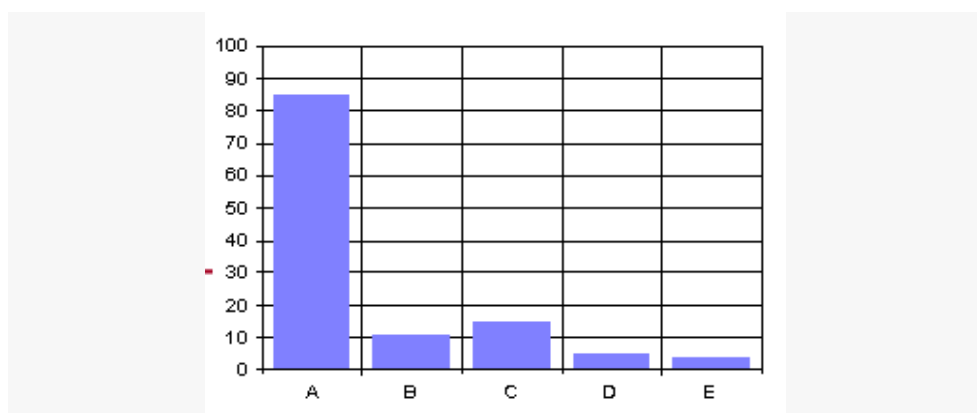
Obserwacje praktyki eksploatacyjnej pojazdów z oczekiwaniem wykazały, że wydłużający się czas oczekiwania samochodów na użytkowanie czynne powoduje skrócenie czasu poprawnej pracy między uszkodzeniami. W celu skwantyfikowania tych zależności w ujęciu ilościowym pojęto próbę na podstawie danych zawartych w dokumentacji ewidencyjnej zdarzeń w praktyce eksploatacyjnej samochodów użytkowanych z oczekiwaniem [4, 5].

2. Wybrane badania niezawodności samochodów eksploatowanych z wyczekiwaniem

Badaniem objęto samochody użytkowane z różną intensywnością [5, 6].

Przykład rozkładu grup pojazdów (w zbiorze pojazdów badanych) różniących się czasem oczekiwania (T_w) na użytkowanie, wyznaczonego za rok eksploatacji, przedstawia rys. 1.

Do grupy A należą pojazdy, które pracowały przeciętnie 16 dni w ciągu roku w grupie B – 45 dni/rok, w grupie C – 60 dni/rok, w grupie D – ponad 70 dni/rok i w grupie E – ponad 85 dni w ciągu roku.



Rys. 1. Liczebność grup pojazdów w aspekcie zróżnicowanego czasu oczekiwania na użytkowanie [5, 6]

Samochody w poszczególnych przedziałach różniących się czasem trwania stanu oczekiwania podlegają zróżnicowanemu w czasie eksploatacji udziałowi oddziaływania czynników degradujących stan techniczny podczas pracy i podczas oczekiwania na pracę [5].

Na przebieg samochodów między uszkodzeniami S_u [km], użytkowanych z czasem oczekiwania (grupa A), mają znacznie większy wpływ procesy starzenia od pozostałych grup.

Do identyfikacji uszkodzenia badanych samochodów przyjęto definicję, że uszkodzenie to zdarzenie, które wywołuje stan niezdatności samochodu uniemożliwiający pracę transportową, którego zmiana wymaga działania korekcyjnego (NB), czego nie można odłożyć do czasu najbliższej obsługi planowej.

Podczas badań niezawodności samochodów w tych warunkach eksploataowania informacje o procesach, zdarzeniach, działaniach oraz warunkach użytkowania i obsługiowania zaczerpnięte zostaną z dokumentacji ewidencyjnej eksploatacji.

Zebrane dane o przebiegu samochodów między uszkodzeniami S_u przyjętej do badań próby samochodów starszej generacji, poddane zostały analizie statystycznej. Obliczono podstawowe statystyki, tj. wartość średnią, odchylenie standardowe, skośność rozkładu. Z rozkładu zmiennej losowej S_u wynikał bardzo duży rozrzut względem wartości przeciętnej, a skośność rozkładu 5,7 wskazywała, że odbiega on od normalnego.

Po analizie danych przyjęto zasadę, że uzyskane dane dotyczące przebiegu poprawnej pracy między uszkodzeniami S_{ui} (zarejestrowane w funkcji przebiegu samochodu od początku eksploatacji), przyporządkowano do przyjętych przedziałów intensywności użytkowania pojazdu wyrażonej przeciętnym czasem oczekiwania na użytkowanie: $T_{w1} > T_{w2} > T_{w3} > \dots, T_{wi}$ lub/i parametrem intensywności użytkowania: $q_1 < q_2 < q_3, \dots, < q_i$ (tab. 1).

Tablica 1

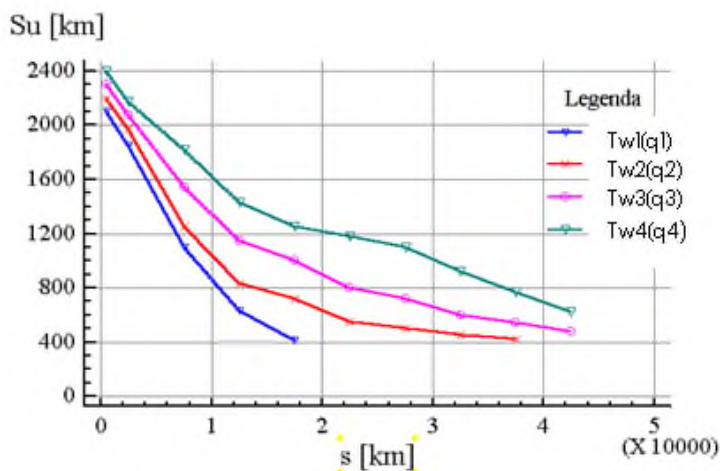
Przedział intensywności użytkowania Przedział przebiegu od początku eksploatacji	q_1/T_{w1}	q_2/T_{w2}	q_3/T_{w3}	q_4/T_{w4}	q_i/T_{wi}
$0 \div 1$	-	-	-	-	-
$1 \div 2$	-	$S_{1-2}^{T_{w2}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n S_{ui}$	-	-	-
...	-	-	-	-	-

gdzie: $S_{(1-2)}^{T_{w2}}$ – wartość oczekiwana (średnia) przebiegu samochodu między uszkodzeniami, użytkowanego z intensywnością q_i/T_{wi} , a uzyskana z danych o uszkodzeniach w przedziale (1-2).

Dane ze zbioru o przebiegach między uszkodzeniami samochodów zostały przydzielone do wydzielonych przedziałów, tworząc podzbiory danych, dla których wyznaczono wartości średnie (oczekiwane).

Charakterystyki $S_u = f(s)$ dla samochodów należących do grup różniących się (w okresie badań) intensywnością użytkowania jako wartości średnie dla wybranej marki i generacji samochodów przedstawia rys. 2.

Uzyskane charakterystyki $S_u = f(q/T_w, s)$ wskazują na monotoniczną zmianę S_u w funkcji przebiegu samochodu od początku eksploatacji, ale tendencja zmiany zależy od intensywności jego pracy.



Rys. 2. Charakterystyka empiryczna $S_u = f(s, T_w)$ badanych samochodów [5]

Uzyskany przebieg charakterystyk jest typowy dla obiektów technicznych, które podlegają procesom starzenia, dla których czas poprawnej pracy między uszkodzeniami w funkcji realizowanego przebiegu zmienia się według funkcji Weibulla [2, 6, 10].

Do grupy q1 należą pojazdy, które pracowały przeciętnie 16 dni w roku, w grupie q2 – 45 dni/rok, w grupie q3 – 60 dni/rok, w grupie q4 – ponad 70 dni/rok i w grupie q5 – ponad 85 dni w ciągu roku.

Zróżnicowany udział czynników starzeniowych dla różnych intensywności użytkowania pojazdu wpływa na zróżnicowanie współczynników kształtu i skali charakterystyki jego niezawodności w funkcji przebiegu od początku eksploatacji. Fakty te wskazują na potrzebę monitorowania w praktyce eksploatacyjnej niezawodności każdego pojazdu z osobna.

3. Gotowość funkcjonalna i operacyjna pojazdów

W praktyce eksploatacyjnej [2, 12] gotowość techniczna funkcjonalna na daną chwilę dla zbioru eksploatowanych samochodów ($N_e = N_z + N_o$) wynika z następującej zależności (1):

$$K_{gt} = \frac{N_z}{N_z + N_o} \quad (1)$$

gdzie: N_o – liczba samochodów niezdatnych technicznie (niegotowych) do pracy w odnowie zdatności, $N_o \subset N_e$,
 N_z – licznosc samochodów zdalnych technicznie $N_z \subset N_e$.

W praktyce eksploatacyjnej samochodów z oczekiwaniem problemem jest to, że w danej chwili każdy z eksploatowanych pojazdów posiada swoją historię użytkowania oraz okres eksploatacji, co wpływa na jego niezawodność na daną chwilę.

Informacja o gotowości według zależności (1) nie pozwala zidentyfikować niezawodności poszczególnych eksploatowanych samochodów należących do danego zbioru.

Sterowanie utrzymaniem samochodów w gotowości technicznej według tego wskaźnika nie identyfikuje w danej chwili niezawodności każdego eksploatowanego samochodu ani jego intensywności użytkowania, która wpływa w danej chwili na jego gotowość techniczną funkcjonalną.

Brak informacji o niezawodności eksploatowanych samochodów w danej chwili uniemożliwia prognozę ich niezawodności do realizacji oczekiwanych zadań transportowych. Uniemożliwia też wyznaczenie gotowości operacyjnej.

Dla eksploatowanego pojazdu gotowość operacyjną na daną chwilę wyznacza iloczyn prawdopodobieństw, że jest on gotowy technicznie do funkcjonowania w danej chwili oraz że będzie zdalny technicznie po przejściu w stan funkcjonowania przez określony czas [1, 3, 7, 11].

Oznacza to, że znajomość gotowości technicznej stacjonarnej K_g samochodu i jego niezawodności $R(s)$ pozwala wyznaczyć na daną chwilę jego gotowość operacyjną, wg zależności (2).

$$K_{go} = K_g \times R(s) \quad (2)$$

Dla samochodu gotowość techniczna funkcjonalna w ujęciu ilościowym określana jest najczęściej współczynnikiem gotowości technicznej [7, 11], którą wyraża zależność (3).

$$K_g = \frac{T_m}{T_m + T_n}; \text{ lub } K_g = \frac{\mu}{\mu + \lambda}; \text{ gdzie } \mu = \frac{1}{T_n}; \lambda = \frac{1}{T_m} \quad (3)$$

gdzie: T_m – wartość oczekiwana czasu poprawnego funkcjonowania pojazdu między uszkodzeniami (*MTBF*),

T_n – wartość oczekiwana czasu odnawiania zdalności pojazdu (*MTTR*),

λ – intensywność zgłoszeń samochodów do odnowy zdalności,

μ – intensywność procesu obsługowego.

Dla systemu z oczekiwaniem na użytkowanie okres między uszkodzeniami pojazdu T_u obejmuje okresy funkcjonowania i okresy oczekiwania, które mogą być kilkakrotnie dłuższe od okresów funkcjonowania.

Jeżeli do wzoru na gotowość techniczną (3) wprowadzimy parametr intensywności użytkowania samochodu q wyrażony zależnością (4)

$$q = \frac{S_u}{T_u}; \quad (4)$$

gdzie: T_u – wartość oczekiwana czasu przebywania pojazdu w stanie zdarnym (obejmuje czas funkcjonowania T_m i czas oczekiwania na funkcjonowanie T_w),

S_u – przebieg pojazdu między uszkodzeniami w czasie T_u ,
wówczas gotowość funkcjonalna samochodu K_g będzie mogła być wyrażona w zależności od trzech czynników, tj. czasu trwania obsługi korekcyjnej/naprawy, przebiegu samochodu między uszkodzeniami oraz intensywności jego użytkowania, według zależności (5).

$$K_g = \frac{S_u}{S_u + T_o q} \quad (5)$$

gdzie: S_u – przeciętny przebieg między uszkodzeniami samochodu,
 T_o – przeciętny czas trwania obsługi korekcyjnej/naprawy samochodu,
 q – intensywność użytkowania i -tego samochodu.

W tym ujęciu wskaźnik gotowości technicznej funkcjonalnej pozwala wyznaczyć gotowość dla każdego samochodu $n_i \in N_e$, zależną od niezawodności wyrażonej parametrem S_u i czasu trwania obsługi T_o oraz intensywności użytkowania q .

Intensywność użytkowania definiowana jest jako stosunek przebiegu pojazdu do przedziału czasowego, w którym ten przebieg został zrealizowany [2].

Tak zdefiniowaną intensywność q można zapisać zależnościami (6).

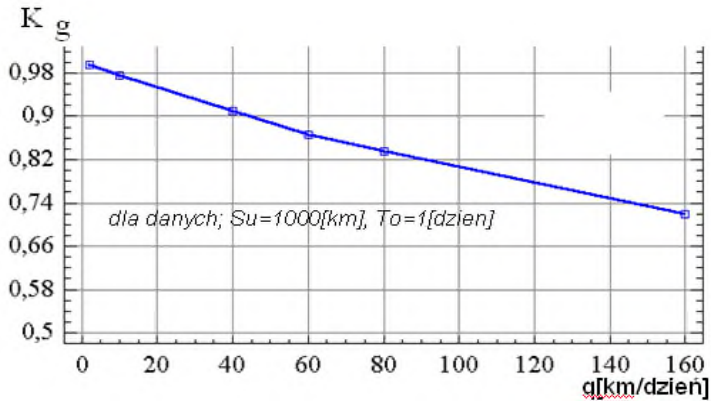
$$q = \frac{1}{T_u} \sum_{i=1}^n Q_i, \quad \text{lub} \quad q = \frac{1}{T_w} Q; \quad (6)$$

gdzie: n – liczba dni w których samochód funkcjonował w czasie T_u ,
 Q_i – przebieg pojazdu zrealizowany w i -tym dniu funkcjonowania,

$T_w = \frac{T_u}{n}$ – przeciętny czas oczekiwania samochodu na pracę,

$Q = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Q_i$, – przeciętny przebieg pojazdu zrealizowany w dniu funkcjonowania.

Przykład charakterystyki gotowości funkcjonalnej samochodu dla danych T_o i S_u w funkcji intensywności użytkowania q , wyrażonej przeciętnym przebiegiem na jednostkę czasu przedstawia rys. 3.



Rys. 3. Oczekiwana gotowość stacjonarna samochodu w funkcji intensywności użytkowania dla danych T_o i S_u [5, 6]

Charakterystyka ta pozwala dostrzec, że wysoki stopień gotowości funkcjonalnej dla niskich intensywności użytkowania wykazują również samochody z niską wartością S_u . Dlatego też czas poprawnej pracy między uszkodzeniami powinien być monitorowany w praktyce eksploatacyjnej dla każdego eksploatowanego pojazdu.

4. Podsumowanie i wnioski

Empiryczne charakterystyki uszkodzeń dla badanych pojazdów potwierdzają potrzebę wyznaczania w praktyce eksploatacyjnej aktualnej niezawodności dla każdego eksploatowanego pojazdu, bowiem parametry niezawodności pojazdu na daną chwilę zależą od czasu jego eksploatacji i wykonanego w tym czasie przebiegu, ale też od intensywności użytkowania.

Wyznaczanie niezawodności pojazdów, według średniodobowej liczby ich uszkodzeń, na podstawie danych statystycznych z eksploatacji zbioru pojazdów lat ubiegłych umożliwia wiarygodne wyznaczenie niezawodności dla poszczególnych pojazdów w aspekcie planowanych dla nich do realizacji zadań transportowych, w tym również parametrów strumienia potrzeb naprawczych.

5. References

1. Figurski J., Kłosowski A., Sterniczuk E., Zółkowski J.: Model oceny gotowości pojazdów specjalnych w sytuacjach kryzysowych. Wydział Logistyki WAT, Zeszyt 135/ nr3/2015.

2. Hebda M., Mazur T.: Podstawy eksploatacji pojazdów samochodowych. WKiŁ, Warszawa 1980.
3. Kaleta R., Zieja M., Witoś M.: Systemy informatycznego wsparcia Lotnictwa Sił Zbrojnych RP. Logistyka 6/2014.
4. Kończak J.: Metoda wyznaczania wskaźników niezawodności dla wojskowych pojazdów mechanicznych eksploatowanych nieregularnie. Rozprawa doktorska, Instytut Lotnictwa Warszawa 2017.
5. Kruk Z.: Badania efektywności systemu eksploatacji pojazdów kołowych na podstawie oceny gotowości technicznej wytypowanych marek pojazdów użytkowanych w wojsku. Archiwum WITPiS 1990/91.
6. Kruk Z.: Problematyka prognozowania gotowości operacyjnej samochodów w systemie transportowym z wyczekiwaniem na funkcjonowanie. BEL Studio Sp. z o.o. Sulejówek-Warszawa 2018.
7. Lewitowicz J., Szelmanowski A., Pazur A., Janik P.: Komputerowy system zarządzania niezawodnością i gotowością operacyjną zintegrowanego systemu łączności dla śmigłowców wojskowych. Autobusy 1-2/2019.
8. Przybysz K.: Gotowość operacyjna dla pojazdów wojskowych w aspekcie bezpieczeństwa. Rozprawa doktorska, ITWL, Warszawa 2017.
9. Simiński P.: Wojskowe pojazdy kołowe. Bel Studio, Sulejówek 2015.
10. Smalko Z.: Podstawy eksploatacji technicznej pojazdów. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1998.
11. Zieja M., Pazur A., Szelmanowski A.: Komputerowy system zarządzania gotowością operacyjną zintegrowanych systemów łączności dla polskich śmigłowców wojskowych. Zeszyty Naukowe Wydziału Elektrotechniki i Automatyki Politechniki Gdańskiej, Nr 59, 2018.
12. Instrukcja o gospodarowaniu sprzętu służby czołgowo-samochodowej. MON IWSZ, DU-4.22.2(A), Bydgoszcz 2019.