ANALYSIS AND TESTING OF RELIABILITY OF MILITARY VEHICLES

BADANIA NIEZAWODNOŚCI POJAZDÓW WOJSKOWYCH

Przemysław Simiński¹, Jarosław Kończak¹, Kamil Przybysz²

¹Military Institute of Armoured and Automotive Technology,
Wojskowy Instytut Techniki Pancernej i Samochodowej

²Polish Air Force University. Lotnicza Akademia Wojskowa

Abstract: *The subjects of this publication are the issue of reliability studies of military vehicles, the determination of reliability indicators of selected groups of vehicles, and the adoption of complex models of operation for analysis based on recorded operational events. Numerical simulations of operating states were performed to verify the models and the adopted reliability indicators. It has been shown that it is possible to use the obtained results of research in the economic efficiency-oriented military vehicle management system in order to minimize structural surpluses and increase the efficiency of the land technology equipment park.*

Keywords: *vehicle, operation, model*

Streszczenie: *Tematem publikacji jest problematyka badań niezawodności pojazdów wojskowych, określenie wskaźników niezawodności wybranych grup pojazdów, przyjęcie złożonych modeli eksploatacji do analiz na podstawie rejestrowanych zdarzeń eksploatacyjnych. W celu weryfikacji modeli i przyjętych wskaźników niezawodności przeprowadzono symulacje numeryczne odzwierciedlające stany eksploatacji. Wykazano, że istnieje możliwość zastosowania uzyskanych wyników badań w systemie zarządzania eksploatacją pojazdów wojskowych ukierunkowanym na efektywność ekonomiczną, w celu minimalizacji nadmiarów strukturalnych i podwyższenia sprawności parku sprzętowego techniki lądowej.*

Słowa kluczowe: *pojazd, eksploatacja, model*

ANALYSIS AND TESTING OF RELIABILITY OF MILITARY VEHICLES

1. Introduction

The Armed Forces of the Republic of Poland are equipped with motor vehicles used by individual military branches and services to carry out their tasks. This paper presents different selected groups of vehicles, i.e. transport vehicles, combat vehicles, and special vehicles, which are divided in wheeled and tracked vehicles depending on their traction. Factors influencing reliability of military vehicles have been assessed.

2. Research problem and test method

The main goal of the research was to determine reliability indices for selected groups of military vehicles. Based on the analyses, 2 models of operation have been independently developed. Operating states have been described using data pertaining to the intended use of vehicles, their construction, technical advancement factor, history of operation (mileage, stand-by time, storage, running repairs, planned repairs, planned maintenance, quantities of fuel, oil and lubricants used).

Fig. 1 Graphs showing the use of a military vehicle

In the first model (Fig. 1 model 1), it was noticed that maintenance and repairs of vehicles are accompanied by prolonged vehicle parking times. In practice, this means that a given vehicle cannot take part in planned activities because of low efficiency of a logistics subsystem, i.e. the process of providing technical material resources (e.g. prolonged time of acquisition, stocking inappropriate selection of spare parts).

In the second model (Fig. 1 model 2), it was noticed that it was necessary to monitor the condition of vehicles allocated to the “equipment in storage” group. Such vehicles, following their appropriate preparation for long-term storage, are so-called war-time reserve. According to the requirements, such vehicles, following the removal of protective means (the extended scope of maintenance) should be able to carry out tasks in line with their intended use in case of a crisis or a danger of war.

Out of 48,000 vehicles, several samples were chosen to carry out reliability tests of military vehicles. The selected vehicles were:

- general-purpose transport vehicles (e.g. Star 200, Iveco Eurocargo, Star 29, Nysa, Żuk, Fiat Ducato, VW Crafter, Autosan H9, Autosan 10, MAN Lion, Jelcz 622, Iveco Stralis),
- high-mobility transport vehicles (e.g. Star 660, Star 266, Jelcz 442.32),
- wheeled combat vehicles (e.g. KTO Rosomak),
- tracked combat vehicles (e.g. tanks PT-91, T-72, Leopard 2),
- special-purpose wheeled vehicles (e.g. chemical defence equipment, mobile maintenance-and-repair workshops, ambulances, fire engines).

The representative samples included from over twelve up to several dozen vehicles. Account was taken for recorded total and annual average mileage values. In the course of analyses it was possible to determine the intensity of operation at a level of individual vehicle, average intensity of operation for the studied equipment group, average mileage values between failures, intensity of failures, and time taken to recondition a vehicle.

The analysis of the available data on operational states of vehicles, as collected by logistics units of the army, made it possible to develop comprehensive models of operation. These are 5-state models. The limit imposed on the number of states of vehicles results from the conditions (documents) adopted by the Polish Armed Forces in order to standardize principles of operation [5, 6, 7]. At present, used service life of military vehicles is expressed as mileage (in km) while time of operation is expressed in years. In order to distinguish more states, one needs to ensure continuous monitoring and recording of events with account taken for the time of their occurrence (with accuracy up to a day or even an hour).

3. Results

Using a non-parametric method and data from selected samples of vehicles, an empiric reliability function was determined for vehicles included in the relevant samples, in line with the following relation:

$$R^*(s) = \frac{n - m(s)}{n}$$

where:

n - sample size,

$m(s)$ - number of failed vehicles before reaching the mileage s (excluding the moment when this mileage is reached),

$n-m(s)$ - number of vehicles without failures until the mileage s is reached.

Within the study, time over which a vehicle was maintained in fit-for-use condition was registered as mileage between failures, estimated in kilometres, and consequently the argument of the reliability function is mileage s expressed in km and not in units of time.

In order to determine the empiric reliability function, the following approximate function was used:

$$R(s) = -0.199 \ln(s) + 0.808$$

The graph of the above function is shown in Figure 2.

Fig. 2 Empirical reliability function for selected vehicles

The operational readiness has been presented as a product of functional readiness and task-based readiness of a particular vehicle [3].

$$G(l) = K_g(l_s) \cdot R(l) = \frac{S_u}{S_u + t_o q} \cdot R(l)$$

where:

- S_u – mean mileage between failures,
- t_o – mean duration of corrective maintenance/repair of the vehicle,
- q – intensity of vehicle operation,
- $R(l)$ – vehicle reliability function defined as the probability of completing a task by a vehicle within the mileage of l

It was proposed that reliability of military vehicles should be assessed using information on their design complexity, service (combat) potential, and technological advancement. Assumptions were made that probability of failure occurring in military vehicles changes randomly over time and their operation is irregular and of varying intensity. Occurrence of events (changes from operational to non-operational state) was described using the Weibull distribution.

The registered values of mileage and mileage between failures allow the determination of the scale and shape factors in the Weibull distribution.

The formula defining the probability density for an occurrence of failure in the Weibull distribution is as follows:

$$f(S, \lambda, k) = \frac{k}{p} \cdot \left(\frac{S}{p}\right)^{k-1} \cdot e^{-\left(\frac{S}{p}\right)^k}$$

where, respectively, S – total mileage from the beginning of operation, p – scale factor, k – shape factor.

It has been proposed that the value of the scale factor is a quotient of the mileage between failures S_u and the sum of the total mileage covered by the vehicle since the beginning of its use and the mileage S_z covered within the planned transport- or combat-related task:

$$p = \frac{S_u}{S_c + S_z}$$

The shape factor applied to military vehicles, due to their specific conditions of operation, takes into account the following features of such vehicles:

- vehicle design complexity – w_k ,
- operating potential (transport- or combat-related) – p_u ,
- technical advancement factor [4] – w_n .

Consequently, the shape factor k is expressed, in the overall expression, by means of the following relationship:

$$k = \frac{w_k \cdot p_u}{w_n}$$

An example probability characteristic curve of a correct operation of a high-mobility vehicle is shown in Fig. 3.

Fig. 3 Change in stationary standby and operational readiness

The determined values of stationary readiness index for the selected samples of vehicles are similar to the values of respective indices calculated in the traditional way using systems of linear equations. The comparison of the index values calculated using different methods shows that the two considered models of determination of operational readiness should be recognized as capable of reliably evaluating the readiness.

Fig. 4 Decrease in operational readiness

In the analysis of operational readiness mileage values (Fig. 4), one can assume that the value of operational readiness depends logarithmically on the length of task measured in kilometres covered. Vehicles from the tested samples achieve a high level of operational readiness of 0.76 when covering short distances up to 1,000 km. This means that a vehicle can undertake a transport task on a distance not greater than 1,000 km and successfully complete it with a probability of 0.76. The probability of covering a distance without any failure sharply drops when the length of the transport task is increased. If the distance to be covered rises to 2,000 km, the operational readiness will fall by more than 16% of the value for the transport task with a distance up to 1,000 km.

According to experience acquired from operating vehicle fleets and using normative documents (defence standards), factors influencing reliability of military vehicles have been assessed. Such factors include:

- Total mileage since the beginning of operation,
- Mean mileage between failures,
- Intensity of operation,
- Average reconditioning time (maintenance, repair).

The selected parameterized determinants of reliability are presented in Table 1.

Tab. 1 The results of the reliability tests

Vehicle	Total mileage	MMBF	MIU	MTTR
	S_c	S_u	q_{sr}	t_o
	km	km	km/day	days
Cargo vehicle A General-purpose medium truck	168,529	1,590	8.27	3.4
Cargo vehicle B General-purpose medium truck	87,015	13,062	33.10	1
Cargo vehicle C High-mobility medium vehicle	181,382	1,564	13.81	3.1
Cargo vehicle D High-mobility medium vehicle	39,628	6,974	18.36	1
Cargo vehicle E Increased mobility heavy truck	68,835	4,400	24.38	2.5
Special vehicle F Mobile repair workshop	3,050	240	0.24	3.1
Special vehicle G Wheeled infantry fighting vehicle	24,000	936	3.09	3.3
Special vehicle H Main battle tank of 3th generation	19,021	174.1	4.2	1.3
Special vehicle I Modernized MBT of 2nd generation	18,734	25	1.8	3.2

The results obtained from the tests of the analytical models and computer simulations performed show that the adopted research methods were correct. Parameterized reliability indices that affect operational readiness of military vehicles have been presented in Table 1. The determined indices can be implemented in the Integrated Multi-Level IT System of the Polish Armed Forces in order to enhance effectiveness of management of the land motor vehicle fleet.

4. Summary

Based on the known research methods used to determine reliability of various mechanical systems, mathematical models of irregularly operated vehicles have been developed. Despite limitations resulting from prevailing industry regulations, it is possible to apply a complex 6-element model to describe states of operation of a military vehicle. As a result, it is possible to determine reliability indices of military vehicles at a level of an individual item of equipment.

The authors believe that it is possible to use the results in the economic efficiency-oriented military vehicle management system. The undertaken activities are aimed at the minimization of structural surpluses and the increase of efficiency of the land technology equipment park. Furthermore, the authors perceive the possibility of amending industry standards so as to make it possible to enhance the operation management module of the Integrated Multi-Level IT System of the Polish Armed Forces (ZWSI RON).

5. References

- [1] Kupicz W., Mikołajczak P., Rychlik A., Niziński S., Szczyglak P. Wierzbicki S., Systemy diagnostyczne wojskowych pojazdów mechanicznych, Sulejówek - Radom: WNITE-PIB, 2011;
- [2] Niziński S., Eksploatacja obiektów technicznych, Sulejówek - Radom: WiZPITE, 2002;
- [3] Żyluk J., Lewitowicz A., Podstawy eksploatacji statków powietrznych, Warszawa, ITWL, 2009;
- [4] Markowska K.: Study of Passenger Streams and Service Quality of An Urban Transport Company, Journal of Kones, European Science of Powertrain and Transport Publication, Warsaw 2016,
- [5] Wojtaniuk J., "Określanie wartości maszyn do robót ziemnych," Warszawa, 2011.
- [6] IWsp SZ Służby Techniczne, "Instrukcja Zarządzania Eksploatacją Uzbrojenia i Sprzętu Wojskowego w SZ RP Zasady Ogólne," DD/4.22.13, Bydgoszcz, IWsp SZ, 2013.
- [7] IWsp SZ Służby Techniczne, "Katalog norm eksploatacji techniki lądowej," DU-4.22.13.1, Bydgoszcz, IWsp SZ, 2014.

- [8] IWsp SZ Służby Techniczne, „Przepisy o gospodarowaniu sprzętem służby czołgowo-samochodowej,” DD/4.22.2, Bydgoszcz, IWsp SZ, 2014.

Col. Przemysław Simiński Ph.D. Eng., *associate professor, graduate of the faculty of Mechanical Engineering of the Military University of Technology. Deputy Manager of WITPiS. Project Manager. Lecturer, academic teacher (Share 40%).*

Jarosław Kończak Ph.D. Eng., *graduate of the faculty of Mechanical Engineering of the Military University of Technology. Reader at WITPiS, logistics and equipment operation expert, designer, ergonomic engineer. Project Manager (Share 30%).*

Mjr Kamil Przybysz Ph.D. Eng., *graduate of the faculty of Mechanical Engineering of the Military University of Technology reader at Aeronautics Faculty of Polish Air Force Academy, logistics and equipment operation expert, programmer, analyst, IT systems manager (Share 30%).*

BADANIA NIEZAWODNOŚCI POJAZDÓW WOJSKOWYCH

1. Wstęp

Siły Zbrojne RP wyposażone są w pojazdy mechaniczne, które zapewniają realizację zadań dla różnych rodzajów wojsk i służb. W pracy zostały przedstawione różne wybrane grupy pojazdów: transportowych, bojowych, specjalnych, a ze względu na trakcję dokonano podziału na pojazdy kołowe i gąsienicowe. Dokonano oceny czynników wpływających na niezawodność pojazdów wojskowych.

2. Problem badawczy i metoda badawcza

Głównym celem badań było określenie wskaźników niezawodności wybranych grup pojazdów wojskowych. Na podstawie analiz niezależnie opracowano 2 modele eksploatacji. Do opisu stanów eksploatacji wykorzystano dane dotyczące przeznaczenia pojazdów, ich budowy, stopnia nowoczesności, historii eksploatacji (przebiegi, czasy wyczekiwania, przechowywania, naprawy bieżące, naprawy planowe, obsługiwanie planowe, ilości zużytego paliwa, olejów i smarów

Rys. 1 Grafy modeli eksploatacji pojazdów wojskowych

W pierwszym modelu 1 (Rys. 1) zwrócono uwagę na wydłużone czasy postoju pojazdów podczas odnowy lub naprawy. W praktyce oznacza to eliminację pojazdu z przewidzianych zadań ze względu na niską efektywność podsystemu logistycznego – zaopatrywania w techniczne środki materiałowe (m.in. wydłużony czas pozyskania, utrzymywanie nieodpowiedniego asortymentu części zamiennych).

W drugim modelu 2 (Rys. 1) zauważono konieczność monitorowania stanu pojazdów stanowiących grupę sprzętu w przechowywaniu. Pojazdy te są uprzednio właściwie przygotowane do przechowywania długookresowego, stanowią one tzw. zapas wojenny. Wymagane jest, że po czynnościach związanych z rozkonserwowaniem (poszerzony zakres obsługi technicznego) pojazdy będą zdolne do wykonania zadań zgodnie z ich konstrukcyjnym przeznaczeniem w czasie kryzysu lub zagrożenia wojennego.

Do badań niezawodności pojazdów wojskowych wybrano kilka prób z ogólnej liczby ok. 48 tys. egzemplarzy. Wśród nich znalazły się:

- samochody transportowe ogólnego przeznaczenia (np. Star 200, Iveco Eurocargo, Star 29, Nysa, Żuk, Fiat Ducato, VW Crafter, Autosan H9, Autosan 10, MAN Lion, Jelcz 622, Iveco Stralis),
- samochody transportowe wysokiej mobilności (np. Star 660, Star 266, Jelcz 442.32),
- pojazdy bojowe kołowe (np. KTO Rosomak),
- pojazdy bojowe gąsienicowe (np. czołgi PT-91, T-72, Leopard 2),
- pojazdy specjalne na podwoziach kołowych (np. środki zwalczania skażeń, chemicznych, ruchome warsztaty obsługowo-naprawcze, sanitarki, pojazdy pożarnicze).

Reprezentatywne próbki liczyły od kilkunastu do kilkudziesięciu egzemplarzy. Pod uwagę wzięto zarejestrowane przebiegi od początku eksploatacji, średnie przebiegi w roku. W toku prac analitycznych wyznaczono intensywność użytkowania na poziomie pojedynczego pojazdu, średnią intensywność użytkowania dla badanej grupy sprzętowej, średnie przebiegi pomiędzy uszkodzeniami, intensywność uszkodzeń, czasy odnowy pojazdu.

Analiza dostępnych, gromadzonych przez wojskowe ograny logistyczne informacji o stanach eksploatacyjnych pojazdów umożliwiła zbudowanie złożonych modeli eksploatacji. Są nimi modele 5-cio stanowe. Ograniczenie liczby stanów, w których przebywają pojazdy wynika z przyjętych w SZ RP uwarunkowań (dokumentów) normujących zasady eksploatacji [5, 6, 7]. Obecnie miarą zużycia ресурсu eksploatacyjnego pojazdów wojskowych są przebiegi (wyrażone w km) i czas eksploatacji liczony w latach. Wyróżnienie większej liczby stanów wymaga ciągłego monitorowania i rejestrowania zdarzeń, z uwzględnieniem kryterium czasu ich powstania (z dokładnością do dnia a nawet godziny).

3. Wyniki

Wykorzystując dane z wybranych prób pojazdów metodą nieparametryczną wyznaczono empiryczną funkcję niezawodności pojazdów wchodzących w skład przedmiotowych próby, według poniższej zależności:

$$R^*(s) = \frac{n - m(s)}{n}$$

gdzie:

n - liczność próby,

$m(s)$ - liczba uszkodzonych pojazdów do czasu osiągnięcia przebiegu s ,
 (wyłączony moment osiągnięcia tego przebiegu),

$n-m(s)$ - liczba pojazdów nie uszkodzonych do czasu osiągnięcia przebiegu s .

Czas utrzymania pojazdu w stanie zdatności rejestrowany był w czasie badań wielkością przebiegu między uszkodzeniami, szacowanym w kilometrach, dlatego argumentem funkcji niezawodności jest przebieg s , wyrażony w km, a nie w jednostkach czasu.

Do określenia empirycznej funkcji niezawodności posłużono się aproksymowaną funkcją o postaci:

$$R(s) = -0,199 \ln(s) + 0,808$$

W postaci graficznej powyższą funkcję zobrazowano na rysunku 2.

R(s)

Rys. 2 Empiryczna funkcja niezawodności dla wybranych pojazdów

Gotowość operacyjną przedstawiono jako iloczyn gotowości funkcjonalnej i gotowości zadaniowej pojedynczego pojazdu [3].

$$G(l) = K_g(l_s) \cdot R(l) = \frac{S_u}{S_u + t_o q} \cdot R(l)$$

gdzie:

S_u - przeciętny przebieg między uszkodzeniami,

t_o - przeciętny czas trwania obsługi korekcyjnej/naprawy pojazdu,

q - intensywność użytkowania pojazdu,

$R(l)$ - funkcja niezawodności pojazdu, określona jako prawdopodobieństwo zrealizowania zadania przez pojazd w przedziale przebiegu o długości l

Do oceny niezawodności pojazdów wojskowych zaproponowano wykorzystanie informacji o ich złożoności konstrukcyjnej, potencjale użytkowym (bojowym), nowoczesności technologicznej. Przyjęto, że prawdopodobieństwo wystąpienia uszkodzenia pojazdów wojskowych zmienia się losowo w czasie, eksploatacja jest nieregularna, z różną intensywnością. Do opisu zaistnienia zdarzeń (przejścia ze stanu zdatności do stanu niezdatności technicznej) wykorzystano rozkład Weibull'a.

Rejestrowane wartości przebiegów, przebiegów między uszkodzeniami pozwalają na dobranie współczynników skali i kształtu w rozkładzie Weibull'a.

Równanie gęstości prawdopodobieństwa wystąpienia uszkodzenia w rozkładzie Weibull'a dane jest zależnością:

$$f(S, \lambda, k) = \frac{k}{p} \cdot \left(\frac{S}{p}\right)^{k-1} \cdot e^{-\left(\frac{S}{p}\right)^k}$$

gdzie odpowiednio:

S – przebieg od początku eksploatacji,

p – współczynnik skali,

k – współczynnik kształtu.

Zaproponowano, że wartość współczynnika skali to iloraz przebiegu między uszkodzeniami S_u odniesiony do sumy całkowitego przebiegu S_c pojazdu od początku eksploatacji wraz z planowanym zadaniem S_z transportowym lub bojowym:

$$p = \frac{S_u}{S_c + S_z}$$

Natomiast wartość współczynnika kształtu dla pojazdów wojskowych ze względu na specyfikę użytkowania uwzględniono następujące cechy pojazdów wojskowych, takie jak:

- złożoność konstrukcji pojazdu – w_k ,
- potencjał użytkowy (transportowy lub bojowy) – p_u ,
- współczynnik nowoczesności technologicznej [4] – w_n .

Zatem współczynnik kształtu k w ogólnym wyrażeniu jest dany zależnością:

$$k = \frac{w_k \cdot p_u}{w_n}$$

Przykładową charakterystykę prawdopodobieństwa poprawnej pracy samochodu wysokiej mobilności przedstawiono na rysunku 3.

Wyznaczone wartości wskaźnika gotowości stacjonarnej dla obranych prób pojazdów kształtują się na tym samym poziomie, co wartości odpowiednich wskaźników obliczonych w tradycyjny sposób, wykorzystując układy równań liniowych.

Porównując wartości przedmiotowego wskaźnika obliczone różnymi sposobami należy uznać, że przyjęte do rozważań dwa modele wyznaczania gotowości operacyjnej umożliwiają wiarygodne jej oszacowanie.

Rys. 3 Przykładowe przebiegi gotowości stacjonarnej i gotowości operacyjnej

Rys. 4 Zależność gotowości operacyjnej od przebiegu

Analizując przebiegi gotowości operacyjnej (Rys. 4) można założyć, że wartość gotowości operacyjnej logarytmicznie zależy od długości wykonywanego zadania, mierzonego liczbą przejechanych km. Pojazdy z badanych prób osiągają wysoki poziom gotowości operacyjnej kształtujący się na poziomie 0,76, dla krótkich pokonywanych dystansów do 1000 km. Oznacza to, że pojazd, jest w stanie podjąć zadanie transportowe o długości mniejszej niż 1000 km i zakończyć je sukcesem z prawdopodobieństwem równym 0,76.

Prawdopodobieństwo przejechania bez uszkodzenia gwałtownie spada jeżeli długość zadania transportowego będzie wzrastać. Zwiększenie długości wyjazdu do 2000 km oznacza spadek gotowości operacyjnej o ponad 16% wartości dla zadania transportowego do 1000 km.

Na podstawie doświadczenia zdobytego w eksploatacji parków samochodowych oraz wykorzystując dokumenty normatywne (normy obronne) dokonano oceny czynników wpływających na niezawodność pojazdów wojskowych. Należy zaliczyć do nich:

- przebieg całkowity od początku eksploatacji,
- średni przebieg między uszkodzeniami,
- intensywność użytkowania,
- średni czas odnowy (obsługiwanie, naprawy).

Wybrane sparametryzowane determinanty niezawodności przedstawiono w tabeli 1.

Tab. 1 Wyniki badań niezawodności

Vehicle	Przebieg całkowity	Sredni przebieg m/uszkodz.	Sred. inens. użytkow.	Sredni czas naprawy
	S_c	S_u	q_{sr}	t_o
	km	km	km/dzień	dni
Samochód ciężarowy A Samochód ogólnego przeznaczenia średn. ładowności	168 529	1 590	8,27	3,4
Samochód ciężarowy B Samochód ogólnego przeznaczenia średn. ładowności	87 015	13 062	33,10	1
Samochód ciężarowy C Samochód średniej ładowności wysokiej mobilności	181 382	1 564	13,81	3,1
Samochód ciężarowy D Samochód średniej ładowności wysokiej mobilności	39 628	6 974	18,36	1
Samochód ciężarowy E Samochód dużej ładowności powiększonej mobilności	68 835	4 400	24,38	2,5
Pojazd specjalizowany F Warsztat Naprawy Pojazdów	3050	240	0,24	3,1
Pojazd specjalizowany G Kołowy bojowy wóz opancerzony	24 000	936	3,09	3,3
Pojazd specjalizowany H Czołg bojowy III generacji	19 021	174,1	4,2	1,3
Pojazd specjalizowany I Czołg bojowy II generacji zmodernizowany	18 734	25	1,8	3,2

Uzyskane wyniki badań modeli analitycznych oraz przeprowadzone symulacje komputerowe dowodzą słuszności przyjętych metod badawczych. Sparametryzowano wskaźniki niezawodności, które wpływają na gotowość operacyjną pojazdów wojskowych zamieszczono w tabeli 1. Wyznaczone wskaźniki można zaimplementować do Zintegrowanego Wieloszczeblowego Systemu Informatycznego Resortu Obrony Narodowej w celu zwiększenia efektywności zarządzania posiadanym parkiem techniki poruszającej się po lądzie.

4. Podsumowanie

W oparciu o znane metody badawcze stosowane do określenia niezawodności różnorodnych systemów mechanicznych sporządzono modele matematyczne nieregularnie użytkowanych pojazdów. Możliwe jest zastosowanie złożonego 6-elementowego modelu do opisu stanów eksploatacji pojazdu wojskowego, mimo ograniczeń wynikających z funkcjonujących uregulowań branżowych. W efekcie uzyskano możliwość wyznaczenia wskaźników niezawodności wojskowych pojazdów na poziomie pojedynczego egzemplarza sprzętu.

Autorzy widzą możliwość zastosowania wyników w systemie zarządzania eksploatacją pojazdów wojskowych ukierunkowanym na efektywność ekonomiczną. Celem podjętych działań jest minimalizacji nadmiarów strukturalnych i podwyższenie efektywności utrzymania w sprawności techniki lądowej. Ponadto autorzy widzą możliwość skorygowania przepisów branżowych, aby możliwe było zasilenie modułu zarządzającego eksploatacją w Zintegrowanym Wieloszczeblowym Systemie Informatycznym Resortu Obrony Narodowej (ZWSI RON).

5. Literatura

- [1] Kupicz W., Mikołajczak P., Rychlik A., Niziński S., Szczyglak P. Wierzbicki S., Systemy diagnostyczne wojsko-wych pojazdów mechanicznych, Sulejówek - Radom: WNITE-PIB, 2011;
- [2] Niziński S., Eksploatacja obiektów technicznych, Sulejówek - Radom: WiZPITE, 2002;
- [3] Żyluk J., Lewitowicz A., Podstawy eksploatacji statków powietrznych, Warszawa, ITWL, 2009;
- [4] Markowska K.: Study of Passanger Streaams and Service Quality of An Urban Transport Company, Journal of Kones, European Science of Powertrain and Transport Publication, Warsaw 2016,
- [5] Wojtaniuk J., „Określanie wartości maszyn do robót ziemnych,” Warszawa, 2011.

- [6] IWsp SZ Służby Techniczne, „Instrukcja Zarządzania Eksploatacją Uzbrojenia i Sprzętu Wojskowego w SZ RP Zasady Ogólne,” DD/4.22.13, Bydgoszcz, IWsp SZ, 2013.
- [7] IWsp SZ Służby Techniczne, „Katalog norm eksploatacji techniki lądowej,” DU-4.22.13.1, Bydgoszcz, IWsp SZ, 2014.
- [8] IWsp SZ Służby Techniczne, „Przepisy o gospodarowaniu sprzętem służby czołgowo-samochodowej,” DD/4.22.2, Bydgoszcz, IWsp SZ, 2014.

Plk dr hab. inż. Przemysław Simiński, absolwent Wydziału Mechanicznego WAT, zastępca dyrektora WITPiS, profesor nadzwyczajny, menadżer projektu, wykładowca, dydaktyk (Udział 40%).

Dr inż. Jarosław Kończak, absolwent Wydziału Mechanicznego WAT, adiunkt WITPiS, logistyk, eksploatacja, konstruktor, ergonomista, menadżer projektu (Udział 30%).

Mjr dr inż. Kamil Przybysz, absolwent Wydziału Mechanicznego WAT, adiunkt Wydziału Lotniczego WSOSP, logistyk, eksploatacja, programista, analityk, menadżer systemów informatycznych (Udział 30%).