

Zbigniew ZDZIENNICKI¹
Andrzej MACIEJCZYK²

NEKONWENCJONALNE WYZNACZENIE FUNKCJI NIEZAWODNOŚCI POJAZDÓW SAMOCHODOWYCH

W pracy przedstawiono metodę wyznaczenia funkcji niezawodności pojazdów samochodowych. Niezawodność pojazdu samochodowego opisana jest przez dwuparametrowy rozkład Weibulla. W celu umożliwienia praktycznego zastosowania funkcji niezawodności do prognozowania niezawodności pojazdów, przedstawiono metodę ilościowego określenia tej funkcji. Oznacza to konieczność wyznaczenia, w oparciu o przyjęte założenia, wartości nieznanymi parametrów rozkładu Weibulla.

UNCONVENTIONAL METHOD OF AUTOMOTIVE VEHICLES RELIABILITY DETERMINATION

The paper presents a method of determining the reliability function of automotive vehicles. Reliability of the automotive vehicle is described by two-parameter Weibull distribution. This implies the designation of unknown parameters Weibull distribution.

1. WSTĘP

Znajomość charakterystyk niezawodnościowych obiektów technicznych, to zbiór niezmiernie istotnych informacji i nieoceniona pomoc w prawidłowej ocenie kondycji tych obiektów podczas ich użytkowania. Wyższa niezawodność pojazdu to także bezpieczniejsze jego użytkowanie. Ale nie tylko. W dobie wysokiego nasycenia technologicznego, liczba użytkowanych obiektów technicznych, w tym pojazdów samochodowych, przekłada się na wysokie koszty eksploatacji. Wysoka trwałość i niezawodność pojazdów samochodowych, to dłuższe okresy bezawaryjnej ich pracy oraz możliwość znacznej redukcji nakładów finansowych przeznaczanych na ich naprawy i remonty. Efektywne wykorzystanie danych uzyskanych w oparciu o funkcję niezawodności, może wpływać na istotne wydłużenie okresów eksploatacyjnych pojazdów, zaś dokładne określenie prawdopodobieństwa występowania dysfunkcji i usterek, oprócz ewidentnych oszczędności pozwala na odpowiednie planowanie koncentracji i

¹ Politechnika Łódzka, Wydział Mechaniczny, 90-924 Łódź, ul. Żeromskiego 116
Tel. +48 42 631-22-62, E-mail: zbychu@p.lodz.pl

² Politechnika Łódzka, Wydział Mechaniczny, 90-924 Łódź, ul. Żeromskiego 116
Tel. +48 42 631-22-41, E-mail: maciejcz@p.lodz.pl

rozlokowanie w czasie środków finansowych przeznaczanych na eksploatację i naprawy tych pojazdów.

2. ZAŁOŻENIA

Zmienną losową wystąpienia uszkodzenia (dysfunkcji) pojazdu jest jego przebieg (w tys. km) do wystąpienia tego uszkodzenia.

Średni, bazowy przebieg roczny pojazdu zależy od pojemności jego silnika. Wartości tych wielkości podane są w tabeli nr 1 i 2,[1]

Tab.1. Roczne przebiegi bazowe samochodów osobowych

Pojemność skokowa silnika [cm ³]	Bazowy przebieg roczny [tys. km]
do 750	10
od 751 do 1000	13
od 1001 do 1500	15
od 1501 do 2000	20
powyżej 2000	25

Tab. 2. Roczne przebiegi bazowe samochodów ciężarowych i autobusów

Pojemność skokowa silnika [cm ³]	Bazowy przebieg roczny [tys. km]
do 2000	24
od 2001 do 3000	30
od 3001 do 5000	40
od 5001 do 7000	50
Od 7001 do 10000	70
powyżej 10000	80

Zostaje przyjęte, że niezawodność pojazdu samochodowego opisana jest przez dwuparametrowy rozkład Weibulla[2].

Rozpatrywany jest dwuetapowy okres eksploatacji pojazdu określony odpowiednio przebiegami w tys. km. Podczas pierwszego etapu pojazd realizuje przebieg $3 \cdot l_B$, gdzie l_B jest jego bazowym przebiegiem rocznym. Drugi etap eksploatacji jest okresem warunkowym, przy założeniu, że pojazd nie uległ uszkodzeniu w pierwszym etapie użytkowania. Podczas tego etapu pojazd realizuje przebieg $2 \cdot l_B$.

3. MODEL NIEZAWODNOŚCIOWYPOJAZDU

Funkcję niezawodności każdego obiektu technicznego można przedstawić w postaci:

$$R(l) = \exp[-\Lambda(l)] \quad (1)$$

gdzie: l – zbiór liczb na dodatniej półosi liczb rzeczywistych którym przypisane są prawdopodobieństwa poprawnego działania obiektu technicznego; w przypadku pojazdów samochodowych zbiór ten określa przebieg pojazdu w tys. km

$\Lambda(l)$ – skumulowana intensywność uszkodzeń obiektu technicznego (np. pojazdu samochodowego). Wielkość ta nazywana jest również funkcją wiodącą.

Funkcja wiodąca dla rozpatrywanego dwuparametrowego rozkładu Weibulla, ma postać:

$$\Lambda(l) = \left(\frac{l}{\eta}\right)^\beta \quad (2)$$

gdzie: $\eta > 0, \beta > 1$ – parametry rozkładu Weibulla (taki typ rozkładu Weibulla jest tutaj rozważany):

η – parametr skali,
 β – parametr kształtu.

Uwzględniając (2) w (1) funkcja niezawodności zostaje zapisana w postaci:

$$R(l) = \exp\left[-\left(\frac{l}{\eta}\right)^\beta\right] \quad (3)$$

Dysponując funkcją niezawodności obiektu możliwe jest wyznaczenie jego trwałości. Trwałość tę określa się za pomocą kwantyla, którego rząd ustalony jest w oparciu o wymagany lub przyjęty nieprzekraczalny poziom ryzyka uszkodzenia, przy którym dany obiekt będzie eksploatowany.

Kwantyl l_p (rzędu p wyrażonym w procentach), który określa trwałość danego obiektu, jest pierwiastkiem (dodatnim) następującego równania:

$$\exp\left[-\left(\frac{l}{\eta}\right)^\beta\right] = 1 - \frac{p}{100} \quad (4)$$

W celu umożliwienia praktycznego wykorzystania funkcji niezawodności (3) do określania niezawodności pojazdu, niezbędne jest wyznaczenie wartości parametrów β oraz η .

4. WYZNACZENIE WARTOŚCI PARAMETRÓW β ORAZ η DWUPARAMETROWEGO ROZKŁADU WEIBULLA

Zgodnie z przyjętymi założeniami:

- pierwszy etap eksploatacji, równy 3 krotnemu przebiegowi bazowemu pojazdu, czyli $3 \cdot l_B$, można potraktować jako kwantyl bliżej nieokreślonym rzędzie p (odpowiada on okresowi użytkowania pojazdu do 1 przeglądu technicznego),
- drugi etap eksploatacji, równy 2 krotnemu przebiegowi bazowemu pojazdu, czyli $2 \cdot l_B$, można potraktować jako kwantyl warunkowy o tym samym rzędzie p co kwantyl poprzedni (warunkiem jest założenie, że pojazd podczas pierwszego przebiegu ($3 \cdot l_B$) nie uległ uszkodzeniu).

Przyjęcie tego samego rzędu kwantyli p , oznacza taką samą niezawodność pojazdu wyrażoną w procentach dla obu etapów eksploatacji.

Dla pierwszego okresu eksploatacji, zgodnie z równaniem (3), można zapisać zależność:

$$R(3l_B) = e^{-\left(\frac{3 \cdot l_B}{\eta}\right)^\beta} \quad (5)$$

oraz zgodnie z (4)

$$e^{-\left(\frac{3 \cdot l_B}{\eta}\right)^\beta} = 1 - \frac{p}{100} \quad (6)$$

Równanie (6) zostaje przekształcone do postaci:

$$l_B = \frac{\eta}{3} \left[-\ln \left(1 - \frac{p}{100} \right) \right]^{\frac{1}{\beta}} \quad (7)$$

W drugim etapie eksploatacji, o ile pojazd, po przebyciu przebiegu $3 \cdot l_B$, pozostaje nadal sprawny i wypełnia wszystkie swoje funkcje (pomyślnie przeszedł przegląd techniczny), to jego niezawodność określa warunkowa funkcja niezawodności.

Funkcja ta ma postać:

$$R(l|3 \cdot l_B) = \frac{R(l+3 \cdot l_B)}{R(3 \cdot l_B)} = \frac{\exp \left[-\frac{1}{\eta^\beta} (l+3 \cdot l_B)^\beta \right]}{\exp \left[-\frac{1}{\eta^\beta} (3 \cdot l_B)^\beta \right]} \quad (8)$$

lub

$$R(l|3 \cdot l_B) = \exp \left\{ -\frac{1}{\eta^\beta} \left[(l+3 \cdot l_B)^\beta - (3 \cdot l_B)^\beta \right] \right\} \quad (9)$$

Warunkowy kwantyl (trwałość) odpowiadający temu etapowi i wynoszący $2 \cdot l_B$ (podwójny bazowy przebieg roczny pojazdu – przebieg pomiędzy I-szym i II-gim przeglądem technicznym) spełnia następującą zależność:

$$\exp \left\{ -\frac{1}{\eta^\beta} \left[(2 \cdot l_B + 3 \cdot l_B)^\beta - (3 \cdot l_B)^\beta \right] \right\} = 1 - \frac{p}{100} \quad (10)$$

Po przekształceniu równania (10) otrzymuje się wyrażenie:

$$l_B = \eta \left[\frac{-\ln \left(1 - \frac{p}{100} \right)}{5^\beta - 3^\beta} \right]^{\frac{1}{\beta}} \quad (11)$$

Przyrównując prawe strony zależności (7) i (11):

$$\frac{\eta}{3} \left[-\ln \left(1 - \frac{p}{100} \right) \right]^{\frac{1}{\beta}} = \eta \left[\frac{-\ln \left(1 - \frac{p}{100} \right)}{5^\beta - 3^\beta} \right]^{\frac{1}{\beta}} \quad (12)$$

Oraz dokonując odpowiednich uproszczeń w powyższym równaniu, otrzymuje się zależność określającą nieznaną wartość parametru β funkcji niezawodności (3)

$$(5^\beta - 3^\beta)^{\frac{1}{\beta}} = 3 \quad (13)$$

Rozwiązaniem równania (13) jest poszukiwana wartość tego parametru

$$\beta = 1,36 \quad (14)$$

W celu wyznaczenia parametru η potrzebna jest informacja dotycząca trwałości danego pojazdu. Możliwe jest określenie trwałości pojazdu w oparciu o publikowane, przybliżone i uśrednione dane dotyczące trwałości silników pojazdu. Dane te zwykle podawane są w tys. kilometrów przebiegu [3]. Znacznie bardziej miarodajną byłaby informacja udzielona przez producenta pojazdu (danego modelu) lub jego upoważnionego przedstawiciela (dystrybutora) dotycząca trwałości danego pojazdu. Informacje odnośnie trwałości pojazdów nie są ogólnie dostępne i raczej niechętnie udzielane przez producentów czy ich przedstawicieli. Jednakże autorzy uzyskali taką informację dotyczącą pewnego modelu samochodu osobowego o pojemności silnika 1200 cm³. Trwałość tę oznaczono symbolem L_{10} i stanowi ona estymator kwantyla 10-cio procentowego dla funkcji niezawodności pojazdu wyrażonej zależnością (3).

Znając wartość L_{10} , oraz wartość parametru kształtu β , wartość parametru skali η wyznaczono z zależności (4) :

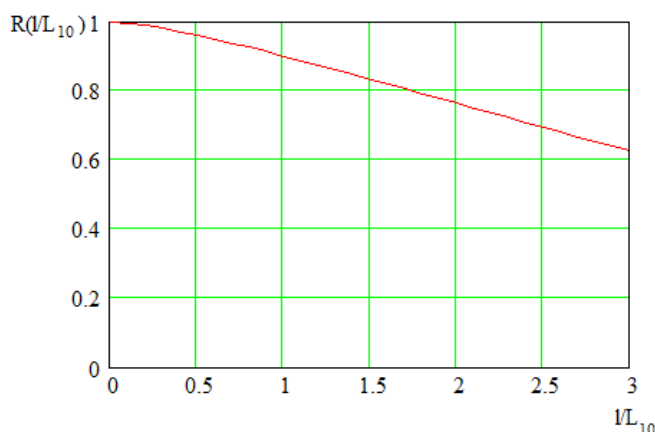
$$\exp \left[- \left(\frac{L_{10}}{\eta} \right)^{1,36} \right] = 1 - \frac{10}{100} \quad (15)$$

Azatem:

$$\eta = 5,23 \cdot L_{10} \quad (16)$$

Wskutek określenia wartości pierwotnie nieznanymi parametrów β oraz η funkcja niezawodności pojazdu samochodowego (3) została określona.

Wykres funkcji niezawodności dla konkretnego pojazdu, w oparciu o znaną autorom wartość kwantyla 10-cio procentowego L_{10} przedstawiono na Rys.1.



Rys. 1. Przykładowy wykres funkcji niezawodności $R(l/L_{10})$

Zgodnie z powyższym wykresem, prawdopodobieństwo, że przykładowy pojazd nie ulegnie uszkodzeniu (wartość funkcji niezawodności) wynosi 0,9 dla 10-cio procentowego

kwantyla, czyli dla najwyżej 10-cio procentowego prawdopodobieństwa wystąpienia usterki.

5. UWAGI

Opisana w pracy metoda niekonwencjonalnego określenia funkcji niezawodności pojazdów samochodowych rozciąga się tylko na te uszkodzenia/dysfunkcję pojazdów, które powstają z winy niedoskonałości procesu ich wytwarzania i montażu. Natomiast nie obejmuje tych uszkodzeń czy dysfunkcji pojazdów spowodowanych ich złą eksploatacją, błędami kierowcy czy wpływem nieodpowiedniego stanu dróg.

Wyznaczona przedstawioną metodą niezawodność pojazdów samochodowych nie obejmuje również drobnych usterek tych pojazdów, niegenerujących zauważalnych kosztów ich usunięcia.

6. WNIOSKI

Wartość parametru β funkcji niezawodności pojazdu została wyznaczona w oparciu o założenie, że kwantyl $13 \cdot l_B$ oraz warunkowy kwantyl $12 \cdot l_B$ są tego samego rzędu.

Wartości parametru η funkcji niezawodności pojazdu jest zdeterminowana wartością trwałości L_n będącej estymatorem kwantyla określonego rzędu n (najczęściej jest nim kwantyl 10-cio procentowy).

Wartość estymatora L_n kwantyla, określonego rzędu n wyrażonego w %, jest z reguły wartością różną dla każdego typu i modelu pojazdu.

7. BIBLIOGRAFIA

- [1] Cota R, Osuch J; *Zasady ustalania wartości rynkowych pojazdów według metody Stowarzyszenia Rzeczoznawców Techniki Samochodowej i Ruchu Drogowego*, Konferencja Szacowanie wartości technicznego majątku ruchomego, Łódź, 2001
- [2] Andrzejczak K, Popowska B; *Trójparametrowy model zdatności system z dwoma typami zagrożeń*, problemy Eksploatacji, 1/2011
- [3] http://www.wojdas.24x7.pl/wysilenie.html#WYS_BENZ
- [4] Birolini A., Reliability Engineering. Theory and Practice, 4-th Ed. Springer 2003.