

MACIEJCZYK Andrzej¹
ZDZIENNICKI Zbigniew²

Charakterystyki niezawodnościowe pojazdu przy jego wymuszonych przeglądach

Niezawodność i niezawodność warunkowa pojazdu, skumulowana intensywność uszkodzeń – funkcja wiodąca, rozkład Weibulla i jego parametry, zmienna losowa pewna, delta Diraca i funkcja Heaviside'a, charakterystyki niezawodnościowe pojazdu przy wymuszonym przeglądzie

Streszczenie

W artykule omówiono sposób zwiększenia niezawodności pojazdu przez jego przeglądy okresowe. Rozważono przypadki, kiedy o terminach przeglądów decyduje operator/kierowca pojazdu oraz gdy przeglądy te wymuszone są przez producenta pojazdu. Do opisu niezawodności pojazdu pomiędzy jego przeglądami zastosowano pojęcie niezawodności warunkowej, a przy przeglądach wymuszonych – dodatkowo posłużono się pojęciem tzw. zmiennej losowej pewnej. Za funkcję rozkładu gęstości prawdopodobieństwa tejże zmiennej, można uważać deltę Diraca. Rozważania zilustrowano przykładem liczbowym, dla którego przytoczono wyniki w formie graficznej. Podano także schematy blokowe omawianych układów niezawodnościowych.

RELIABILITY CHARACTERISTICS OF A VEHICLE AT ITS FORCED SERVICES

Abstract

The article describes the method of reliability increase for a vehicle with its periodic services. There were considered both cases – when the service is decided by a vehicle operator/driver and when the service is forced by the vehicle manufacturer. Conditional reliability was used to describe reliability of the vehicle between its services and additionally – Dirac delta function, when the case of forced service was taken into consideration. The problem considered in the article was illustrated with a numerical example and characteristics in graphical form were enclosed. Block diagrams of the reliability systems discussed were given as well.

1. ZWIĘKSZENIE NIEZAWODNOŚCI POJAZDU PRZEZ JEGO PRZEGLĄDY OKRESOWE

W eksploatacji pojazdów, a także i innych obiektów technicznych, w celu zapewnienia ich niezawodności działania na określonym poziomie w wydłużonym czasie użytkowania, stosuje się przeglądy tych pojazdów. Metoda ta efektywna jest szczególnie dla samochodów osobowych – pojazdów relatywnie tanich i co za tym idzie, o relatywnie niskiej niezawodności.

Niezawodność pojazdu, poddawanego okresowym przeglądom, opisywana jest:

- w okresie od rozpoczęcia użytkowania do pierwszego przeglądu – swoją funkcją niezawodności, którą w ogólnym przypadku można przedstawić w postaci:

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

gdzie: l – zmienna losowa obrazująca przebieg pojazdu

$\Lambda(l)$ – skumulowana intensywność uszkodzeń pojazdu czyli jego funkcja wiodąca

- w okresie od pierwszego do drugiego przeglądu – swoją warunkową funkcją niezawodności, którą w ogólnym przypadku można przedstawić w postaci:

$$R(l|\lambda) = \frac{\exp[-\Lambda(l+\lambda)]}{\exp[-\Lambda(\lambda)]} \quad (2)$$

gdzie: λ – przebieg pojazdu po którym następuje jego przegląd.

Niezawodność pojazdu pomiędzy kolejnymi przeglądami opisują warunkowe funkcje niezawodności, wyznaczone w analogiczny sposób do zależności (2). Przykładowo, jeżeli przyjąć, że przeglądy odbywają się po takim samym przebiegu λ , to warunkowa funkcja niezawodności, opisująca niezawodność pojazdu w okresie od drugiego do trzeciego przeglądu, będzie miała postać:

¹Politechnika Łódzka, Wydział Mechaniczny; 90-924 Łódź; ul. Żeromskiego 116. Tel. + 48 42 631-22-41, E-mail: maciejcz@p.lodz.pl

²Politechnika Łódzka, Wydział Mechaniczny; 90-924 Łódź; ul. Żeromskiego 116. Tel. + 48 42 631-22-62, E-mail: zbychu@p.lodz.pl

$$R(l|2\lambda) = \frac{\frac{\exp[-\Lambda(l+2\lambda)]}{\exp[-\Lambda(l)]}}{\frac{\exp[-\Lambda(2\lambda)]}{\exp[-\Lambda(l)]}} = \frac{\exp[-\Lambda(l+2\lambda)]}{\exp[-\Lambda(2\lambda)]} \quad (3)$$

Przedstawienie graficzne niezawodności pojazdu najlepiej ilustruje omawiany problem. W celu sporządzenia wykresów do takiej ilustracji rozważono niezawodność samochodu osobowego którego niezawodność opisuje dwuparametrowy rozkład Weibulla o następujących parametrach, [1] [2]

- parametrze kształtu $\beta = 1,36$
- parametrze skali $\eta = 130750$ km

Przyjęto także przebieg pojazdu po którym dokonywane są przeglądy jako $\lambda = 20000$ km.

Dla tak przyjętych wielkości zależność (1) ma postać:

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

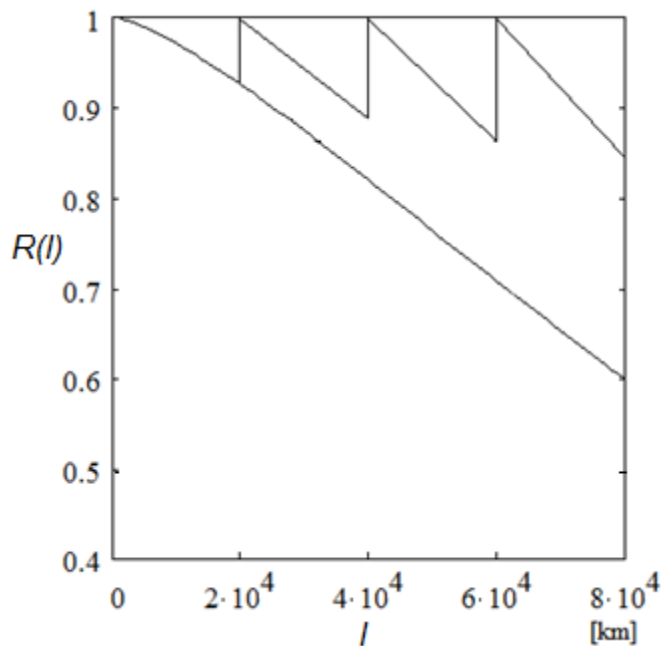
natomiast zależności (2) i (3) – odpowiednio postacie:

$$R(l|\lambda) = \frac{\exp\left[-\left(\frac{l+\lambda}{\eta}\right)^\beta\right]}{\exp\left[-\left(\frac{\lambda}{\eta}\right)^\beta\right]} \quad \text{i} \quad R(l|2\lambda) = \frac{\exp\left[-\left(\frac{l+2\lambda}{\eta}\right)^\beta\right]}{\exp\left[-\left(\frac{2\lambda}{\eta}\right)^\beta\right]} \quad (5)$$

Warunkowa funkcja niezawodności rozważanego pojazdu, dla jego przebiegu pomiędzy trzecim i czwartym przeglądem jest określona związkiem:

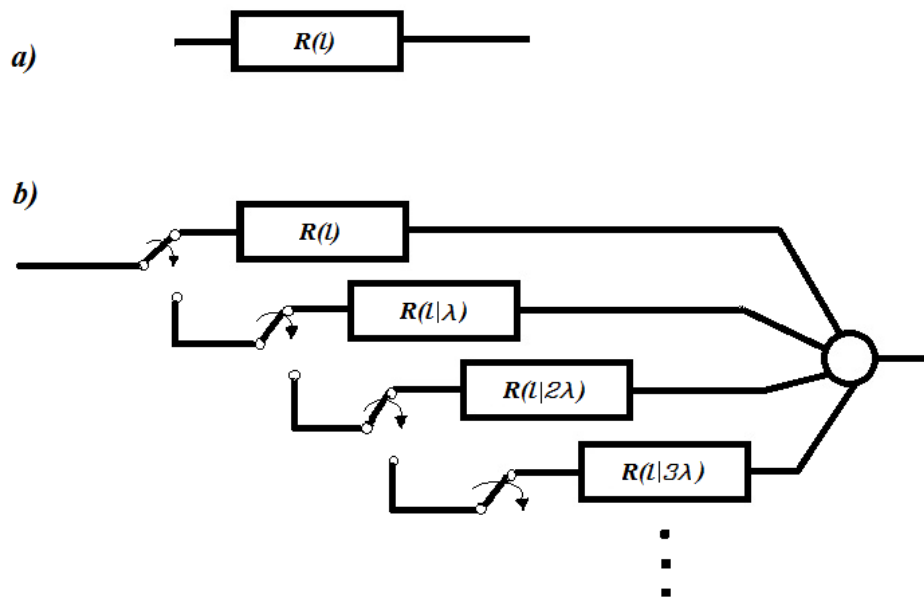
$$R(l|3\lambda) = \frac{\exp\left[-\left(\frac{l+3\lambda}{\eta}\right)^\beta\right]}{\exp\left[-\left(\frac{3\lambda}{\eta}\right)^\beta\right]} \quad (6)$$

Przedmiotowe zależności graficzne przedstawione są na rys.1.



Rys.1. Graficzne przedstawienie niezawodności pojazdu: bez prowadzenia przeglądów – krzywa ciągła malejąca monotonicznie oraz z prowadzonymi przeglądami – krzywa o charakterze piły

Schemat blokowy układu niezawodnościowego pojazdu przedstawiony jest na rys.2.



Rys.2. Schemat blokowy układu niezawodnościowego pojazdu: a) dla jego eksploatacji bez przeglądów, b) dla eksploatacji z jego przeglądami okresowymi

Analizując przebiegi przedstawione na rys.1, dla przyjętych wielkości, można zauważyć iż dla przebiegu pojazdu wynoszącego 80 tys. km, prawdopodobieństwo uszkodzenia/dysfunkcji pojazdu wynosi 40%, gdy pojazd nie jest poddawany przeglądom oraz tylko 15% gdy pojazd jest poddawany przeglądowi co każde 20 tys. km swojego przebiegu.

A zatem przeglądy pojazdów, podczas których stwierdzana jest poprawność działania poszczególnych podzespołów pojazdu, widocznie poprawia niezawodność funkcjonowania tego pojazdu.

Taki stan rzeczy powoduje podejmowanie przez producentów pojazdów prób informowania użytkownika, jak i narzucenia konieczności przeprowadzania regularnych przeglądów pojazdów (rys.3.). Próby te obejmują różne działania, w tym również fizyczną niemożliwość normalnej eksploatacji pojazdu, po przebyciu nastawionego fabrycznie przebiegu. Przedłużenie wartości tego przebiegu następuje po odpowiednim przeglądzie pojazdu.



Rys.3 Przykłady komunikatów dotyczących konieczności wykonania przeglądów pojawiających się na wyświetlaczach pojazdów.

Działanie takiego „zabezpieczenia” ma wyraźny wpływ na opis układu niezawodnościowego pojazdu. Obok niezawodnościowego elementu standardowego, pojawia się drugi element opisujący przedmiotowe zabezpieczenie. Działanie tego elementu, w odróżnieniu od elementu standardowego, jest deterministyczne. A zatem, aby rozważać oba

elementy łącznie i przewidywać ich wspólny wpływ na niezawodność funkcjonowania pojazdu, działanie elementu wymuszającego przegląd należy opisać za pomocą tzw. zmiennej losowej pewnej.

2. ROZKŁAD GĘSTOŚCI PRAWDOPODOBIEŃSTWA ZMIENNEJ LOSOWEJ PEWNEJ

Deltę Diraca [3] można uważać za funkcję rozkładu gęstości prawdopodobieństwa zmiennej losowej pewnej. Zmienna taka tworzy rozkład jednopunktowy – dyskretny rozkład prawdopodobieństwa, skoncentrowany w jednym punkcie przestrzeni przebiegu pojazdu, czyli przyjmuje dokładnie jedną wartość.

W rozważanym zagadnieniu, gęstość prawdopodobieństwa uszkodzeń wyrażona będzie następująco:

$$f(l) = \delta(l - \lambda) \quad (7)$$

gdzie:

$$\delta(l - \lambda) = \begin{cases} +\infty & \text{dla } l = \lambda \\ 0 & \text{dla } l \neq \lambda \end{cases} \quad (8)$$

jest impulsem Diraca przesuniętym o wielkość λ na osi przebiegu pojazdu.

Ponieważ skok jednostkowy Heaviside'a można uważać za dystrybuantę delty Diraca (jest on „funkcją” pierwotną delty Diraca), [3], to funkcja zawodności rozważanych tutaj elementów, zabezpieczających pojazd przed dalszym użytkowaniem bez przeglądu w odpowiednim serwisie, jest przedstawiona wyrażeniem:

$$F(t) = H(t - \lambda) \quad (9)$$

gdzie:

$$H(t - \lambda) = \begin{cases} 1 & \text{dla } t \geq \lambda \\ 0 & \text{dla } t < \lambda \end{cases} \quad (10)$$

jest skokiem jednostkowym Heaviside'a przesuniętym o wielkość λ na osi przebiegu pojazdu.

W celu wyznaczenia funkcji niezawodności $R(t)$ rozważanej klasy obiektów, należy posłużyć się znaną z teorii niezawodności zależnością:

$$R(l) = 1 - F(l - \lambda) \quad (11)$$

Po uwzględnieniu wyrażenia (10) otrzymuje się:

$$R(t) = 1 - H(t - \lambda) \quad (12)$$

Graficzny przebieg zależności (12) przedstawiony został na rys. 4.

3. OKREŚLENIE NIEZAWODNOŚCI POJAZDU PRZY JEGO WYMUSZONYCH PRZEGLĄDACH

W przypadku zastosowania w pojeździe urządzenia wymuszającego zjechanie do serwisu, po przebyciu określonego przez producenta pojazdu przebiegu, układ niezawodnościowy pojazdu może być przedstawiony jako szeregowe połączenie dwóch elementów niezawodnościowych: elementu opisującego niezawodność pojazdu bez w/w urządzenia ograniczającego oraz elementu opisującego niezawodność urządzenia ograniczającego. Pierwszy element opisany jest przez zależność (1) lub w szczególności – przez zależność (4), natomiast drugi – poprzez zależność (12).

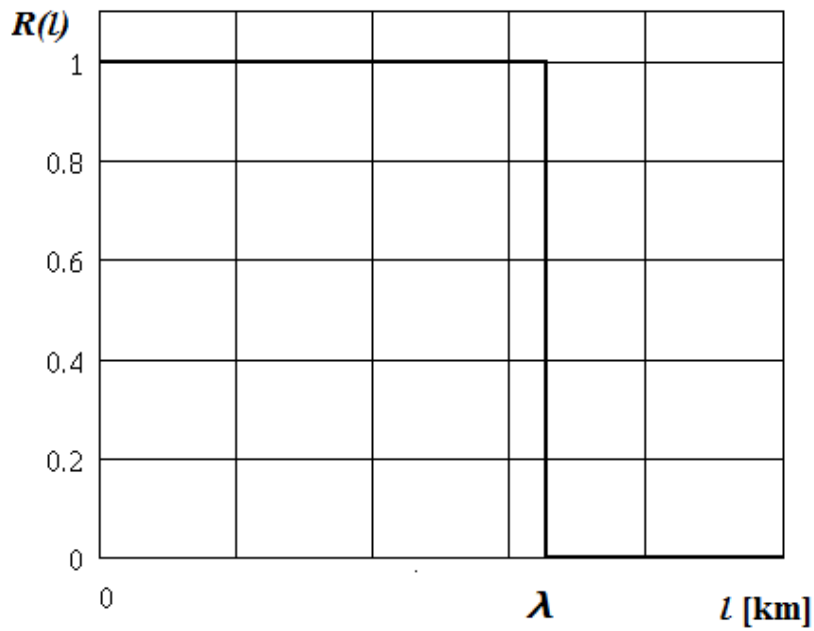
Tak więc funkcja niezawodności opisujący taki układ będzie miała postać:

$$R_u(l) = [1 - H(l - \lambda)] \exp[-\Lambda(l)] \quad (13)$$

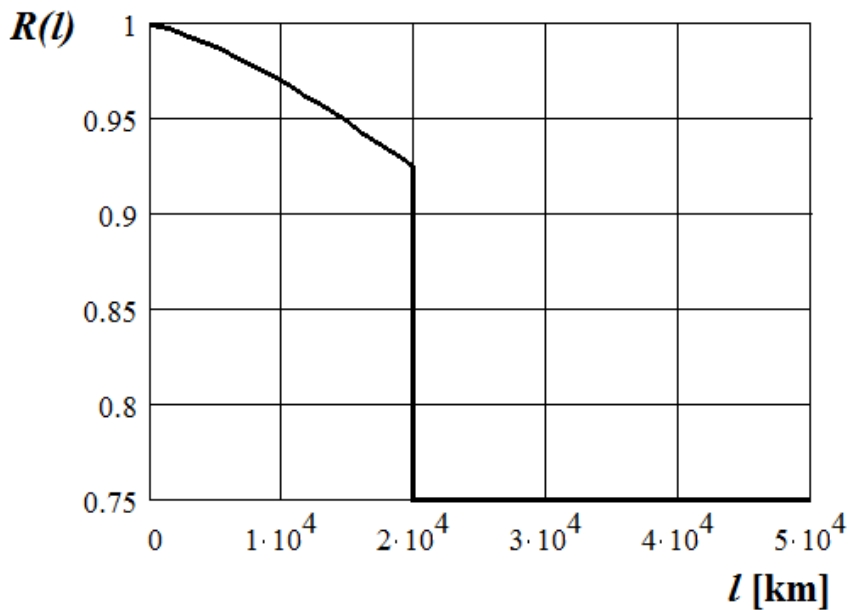
czy w przypadku szczególnym:

$$R_u(l) = [1 - H(l - \lambda)] \exp\left[-\left(\frac{l}{\eta}\right)^\beta\right] \quad (14)$$

Dla przyjętych uprzednio wartości parametrów λ, β i η wykres graficzny zależności (14) będzie przebiegał w sposób przedstawiony na rys. 5. Jak widać z wykresu, po przebiegu pojazdu wynoszącym $\lambda (= 20 \text{ tys. km})$ występuje dysfunkcja pojazdu (która zostanie usunięta przy jego przeglądzie przeprowadzonym przez odpowiedni serwis).



Rys.4. Funkcja niezawodności elementów zabezpieczających pojazd przed dalszym użytkowaniem bez przeglądu w odpowiednim serwisie



Rys.5. Wykres funkcji niezawodności opisaną zależnością (14)

Funkcję niezawodności pojazdu pomiędzy pierwszym i drugim przeglądem opisana jest następującą zależnością:

$$R_u(l|\lambda) = [1 - H(l - 2\lambda)] \frac{\exp[-\lambda(l+\lambda)]}{\exp[-\lambda(\lambda)]} \quad (15)$$

a dla rozważanego przypadku szczególnego:

$$R_u(l|\lambda) = [1 - H(l - 2\lambda)] \frac{\exp\left[-\left(\frac{l+\lambda}{\eta}\right)^\beta\right]}{\exp\left[-\left(\frac{\lambda}{\eta}\right)^\beta\right]} \quad (16)$$

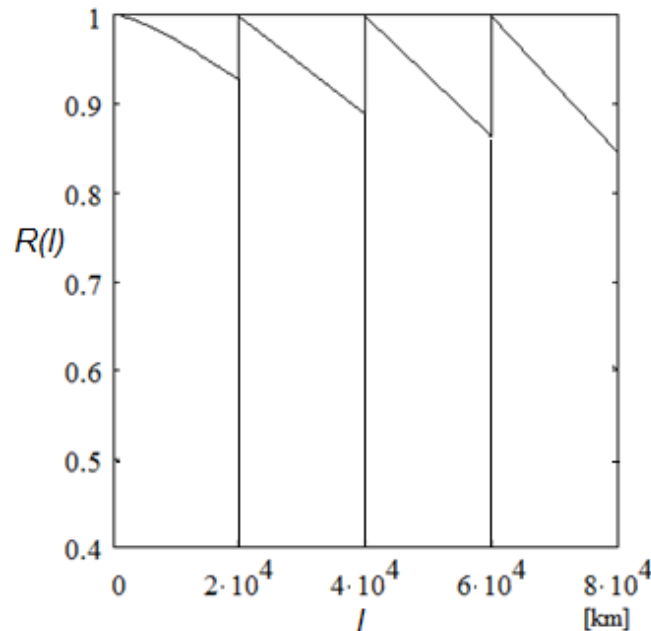
Funkcje niezawodności pojazdu dla kolejnych przebiegów pomiędzy przeglądowymi, wyznacza się analogicznie jak to uczyniono w pkt. 1 niniejszego artykułu.

Graficzna ilustracja niezawodności pojazdu z wymuszonymi jego przeglądami przedstawiona jest na rys. 6.

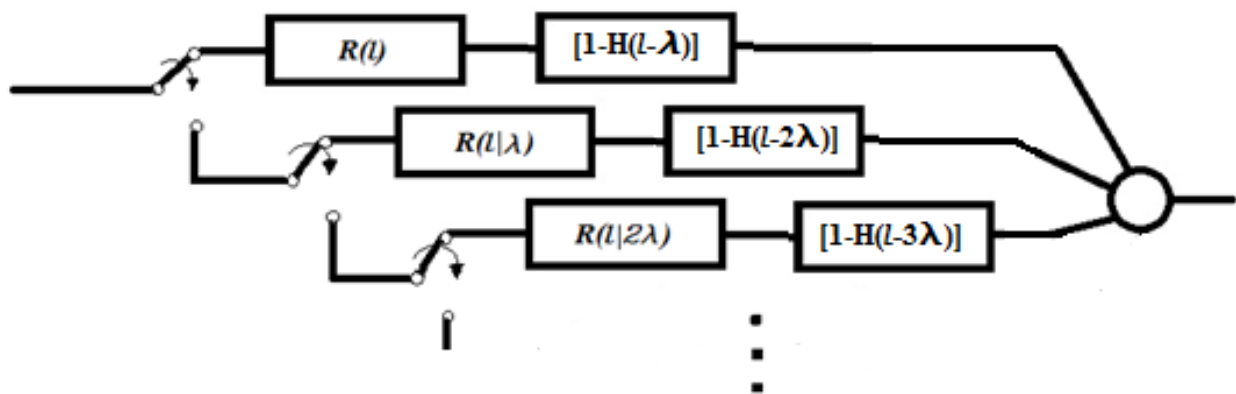
Analizując wyniki otrzymane powyżej z wynikami otrzymanymi w punkcie 1-szym artykułu, można zauważyć, że operator/kierowca pojazdu mając możliwość, dla dowolnie wybranego przez siebie przebiegu pojazdu, zjechać na przegląd, kształtuje niezawodność funkcjonowania tego pojazdu. Zwiększając przebiegi pomiędzy przeglądami zmniejsza on odpowiednio niezawodność działania pojazdu.

W przypadku przeglądów wymuszonych, bez których eksploatacja pojazdu jest niemożliwa, jego niezawodność jest ustalona.

Na rys. 7 został przedstawiony schemat blokowy układu niezawodnościowego pojazdu przy jego wymuszonych przeglądach okresowych.



Rys.6. Graficzne przedstawienie niezawodności pojazdu z wymuszonymi przeglądami okresowymi



Rys.7. Schemat blokowy układu niezawodnościowego pojazdu przy jego wymuszonych przeglądach okresowych

4. WNIOSKI

W artykule wykazano, że niezawodność pojazdu można wydatnie zwiększyć poprzez jego okresowe przeglądy, podczas których sprawdzany jest stan techniczny podzespołów pojazdu. Do opisu niezawodności pojazdu pomiędzy jego przeglądami należy zastosować odpowiednio warunkowe funkcje niezawodności pojazdu.

O ile przebiegi pojazdu pomiędzy jego przeglądami ustalane są przez użytkownika pojazdu, użytkownik ten ma bezpośredni wpływ na wielkość zwiększenia niezawodności pojazdu. Skracając przebieg pomiędzy przeglądami zwiększa niezawodność pojazdu i na odwrót.

W przypadku wymuszonych przeglądów pojazdu, jego niezawodność określona przez ustalone przebiegi pomiędzy przebiegami i użytkownik pojazdu nie ma w zasadzie wpływu na modyfikowanie tej niezawodności. W tym przypadku do opisu niezawodności pojazdu, obok zmiennej losowej opisującej przebieg pojazdu, należy użyć tzw. zmiennej losowej pewnej, której rozkład opisuje delta Diraca, opisującej przebiegi pojazdu przy których odbywają się jego przeglądy. Układ niezawodnościowy pojazdu zawiera tutaj element który uwzględnia działanie wymuszonego przeglądu.

5. BIBLIOGRAFIA

- [1] Zdziennicki Z., Maciejczyk A.: *Niekonwencjonalne wyznaczenie funkcji niezawodności pojazdów samochodowych*, LOGITRANS – VIII konferencja naukowo-techniczna.
- [2] Maciejczyk A., Zdziennicki Z.: *Określenie maksymalnego kosztu naprawy pojazdu*. Referat zgłoszony na IX konferencję naukowo-techniczną LOGITRANS 2012.
- [3] Zemanian A. H., *Teoria dystrybucji i analiza transformat. Wprowadzenie do funkcji uogólnionych i ich zastosowania*, PWN, Warszawa 1969.