

Wskaźniki niezawodności środków transportu szynowego

Ocena niezawodności,
Wskaźniki niezawodnościowe,
Środki transportu szynowego

Streszczenie

Artykuł dotyczy wskaźników niezawodności środków transportu szynowego. Pod względem niezawodnościowym środki transportu szynowego należą do grupy obiektów odnawialnych. Proces eksploatacji tego typu obiektów składa się na przemian z okresów poprawnej pracy i okresów odnow. W analizie środków transportu szynowego, niezawodność należy traktować jako pojęcie kompleksowe, w którym mieszczą się takie cechy obiektu jak: nieuszkodzalność, gotowość, trwałość i obsługiwalność. W artykule zestawiono definicje i formuły obliczeniowe na najważniejsze wskaźniki niezawodności umożliwiające kompleksową ocenę środków transportu szynowego.

RELIABILITY INDICES OF RAILWAY MEANS OF TRANSPORT

Abstract

The article concerns reliability indices of railway means of transport. In reliability aspect these means of transport belong to the group of objects that can be renewed. Utilization process of objects this kind consists of the following alternating periods: proper work and renewal. Means of railway transport analyses reliability needs to be treated as complex notions which can accommodate such features as: non-destructibility, durability, maintainability and availability. The article puts together definitions and computational formulas for the most important reliability indices which allow complex evaluation of railway means of transport.

1. WSTĘP

Jedną z najważniejszych cech środków transportu szynowego jest niezawodność. Jest ona jednocześnie podstawowym czynnikiem użyteczności, czyli zdolności do zaspokojenia potrzeb, determinując bezpośrednio praktyczne możliwości realizacji celu, jakim jest przemieszczanie ładunków lub pasażerów. Środki transportu szynowego, choćby najdoskonalsze w sensie funkcjonalnym, stają się bezużyteczne, jeśli poziom ich niezawodności nie jest zadowalający.

Ilościowo niezawodność środków transportu szynowego, wyraża się za pomocą wskaźników niezawodności. Wielkość stosowanych w praktyce wskaźników wynika z definicji niezawodności w sensie wartościującym. Zgodnie z Polską Normą PN-N-04000:1980, niezawodność jest to właściwość charakteryzująca zdolność obiektu do wykonania określonych zadań w określonym przedziale czasu i określonych warunkach eksploatacji. W nowszym wydaniu normy PN-N-50191:1993, niezawodność definiowana jest jako zespół właściwości, które opisują gotowość obiektu i wpływające na nią: nieuszkodzalność, obsługiwalność i zapewnienie środków obsługi.

2. ŚRODKI TRANSPORTU SZYNOWEGO JAKO OBIEKTY ODNAWIALNE

Charakterystyki niezawodności obiektów technicznych tworzą zespoły wskaźników niezawodności, zbudowane w oparciu o wyniki badań. Rodzaj i ilość wskaźników dobiera się odpowiednio do badanego obiektu. Rozpatruje się oddzielnie trzy grupy obiektów [1]:

- obiekty nieodnawialne, których czas poprawnej pracy równy jest przedziałowi czasu pomiędzy chwilą $t = 0$, a pierwszym uszkodzeniem,
- obiekty odnawialne o pomijalnym czasie odnowy: elementy, dla których czas odnowy jest pomijalnie mały w porównaniu z czasem pracy elementu i praktycznie przyjmuje się go równym zeru,
- obiekty odnawialne o skończonym czasie odnowy: elementy, dla których czas odnowy jest istotny w stosunku do czasu pracy.

Wskaźniki niezawodności dla tych grup nie są identyczne. Środki transportu szynowego składają się z elementów nieodnawialnych i odnawialnych. Jako całość należą do grupy obiektów odnawialnych, gdyż po wymianie uszkodzonego elementu nieodnawialnego lub naprawie elementu odnawialnego, w ramach tzw. naprawy bieżącej, pojazd odzyskuje utracony przejściowo stan zdadności. Wykonywanie tylko napraw bieżących w przypadku obiektów, od których wymaga się wysokiej niezawodności jest nieracjonalne. Dlatego dla pojazdów szynowych stosuje się obsługi profilaktyczne, przeprowadzane w celu zapobiegania powstawania uszkodzeń. Niezawodność obiektów odnawialnych uzależniona jest nie

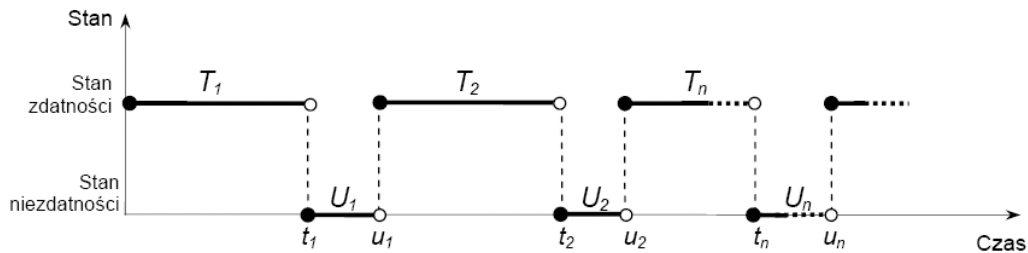
¹Politechnika Krakowska, Instytut Pojazdów Szynowych, al. Jana Pawła II 37, 31-864 Kraków,
Tel. +48 12 374 35 12, e-mail: maciek@m8.mech.pk.edu.pl

tylko jak często występują ich uszkodzenia, ale również jak długo trwają czynności mające na celu doprowadzenie obiektu uszkodzonego do stanu zdatności.

Przy analizie niezawodności nie jest istotne, w jaki sposób zachodzi odnowa, czy poprzez wymianę uszkodzonego elementu na nowy, czy poprzez jego naprawę. Również czas odnowy, na który składa się między innymi: czas diagnozowania uszkodzenia, czas niezbędny na gromadzenie materiałów i części zamiennych do naprawy oraz czas czynności naprawczych, traktuje się jako całość.

3. FUNKCJA ODNOWY ŚRODKÓW TRANSPORTU SZYNOWEGO

Schemat procesu zmian stanów niezawodnościowych pojazdu szynowego jako obiektu odnawialnego przedstawiono na rysunku 1.



Rys.1. Przykład realizacji obiektu odnawialnego o skończonym czasie odnowy
 T_1, T_2, \dots, T_n – okresy poprawnej pracy, U_1, U_2, \dots, U_n – okresy odnowy (usuwania uszkodzenia),
 t_1, t_2, \dots, t_n – kolejne chwile uszkodzeń, u_1, u_2, \dots, u_n – kolejne chwile rozpoczęcia pracy po odnowie.

Pojazd po przepracowaniu czasu T_1 , który jest zmienną losową, pojazd uległ uszkodzeniu i został naprawiony w ciągu czasu U_1 , który jest również zmienną losową. Naprawiony pojazd przepracował czas T_2 i został ponownie naprawiony w czasie U_2 . Dalej proces przebiega tak samo. Przyjmuje się, że T_1, T_2, \dots, T_n oraz U_1, U_2, \dots, U_n są zmiennymi losowymi niezależnymi. Chwile:

$$t_n = T_1 + U_1 + T_2 + U_2 + \dots + T_n \quad \text{dla } n = 1, 2, \dots \quad (1)$$

nazywamy chwilami uszkodzeń, a chwile:

$$u_n = T_1 + U_1 + T_2 + U_2 + \dots + T_n + U_n \quad \text{dla } n = 1, 2, \dots \quad (2)$$

chwilami odnowy elementu.

Założmy, że wszystkie zmienne losowe T_1, T_2, \dots, T_n mają jednakowe rozkłady:

$$F(t) = P\{T_n < t\}, \quad \text{dla } n = 1, 2, \dots \quad (3)$$

o średniej $T_0 = E(T_n)$ i wariancji $\sigma_1^2 = D^2(T_n) > 0$. Również zmienne losowe U_1, U_2, \dots, U_n mają jednakowe rozkłady:

$$G(t) = P\{U_n < t\}, \quad \text{dla } n = 1, 2, \dots \quad (4)$$

o średniej $U_0 = E(U_n)$ i wariancji $\sigma_2^2 = D^2(U_n) > 0$. Zakładamy, że rozkłady posiadają funkcje gęstości określone następująco:

$$f(t) = F'(t) \quad \text{i} \quad g(t) = G'(t) \quad (5)$$

Określony w ten sposób proces nazywamy procesem odnowy ze skończonym czasem trwania odnowy. Podstawową charakterystyką tego procesu jest funkcja odnowy [2, 3].

Przy analizowaniu obiektu odnawialnego, dla którego czas trwania odnowy jest pomijalnie mały do czasu poprawnej pracy, funkcja odnowy $H(t)$ wyraża oczekiwaną liczbę odnow równoważną z liczbą uszkodzeń do chwili t i definiowana jest następująco [2]:

$$H(t) = \sum_{n=1}^{\infty} F_n(t) \quad (6)$$

gdzie:

$F_n(t)$ – dystrybuanta czasu pracy obiektu do wystąpienia n -tego uszkodzenia (odnowy):

$$F_n(t) = \int_0^t F_{n-1}(t-x)dF(x); \quad F_1(t) = F(t) \quad (7)$$

Dla obiektu odnawialnego z uwzględnieniem czasu odnowy, należy wziąć pod uwagę zmienną losową będącą sumą dwóch zmiennych; czasu poprawnej pracy i czasu odnowy:

$$T'_n = T_{n1} + U_{n1} \quad (8)$$

gdzie:

$$\begin{aligned} T_{n1} &= T_1 + T_2 + \dots + T_n \\ U_{n1} &= U_1 + U_2 + \dots + U_n \end{aligned} \quad (9)$$

Korzystając z rozkładów zmiennych losowych T_{n1} i U_{n1} można wyznaczyć rozkład nowej zmiennej losowej T'_n :

$$\Phi_n(t) = P\{T'_n < t\} = \int_0^t F_n(t-x)dG_n(x) \quad (10)$$

gdzie:

$$F_n(t) = \int_0^t F_{n-1}(t-x)dF(x); \quad F_1(t) = F(t) \quad (11)$$

zaś:

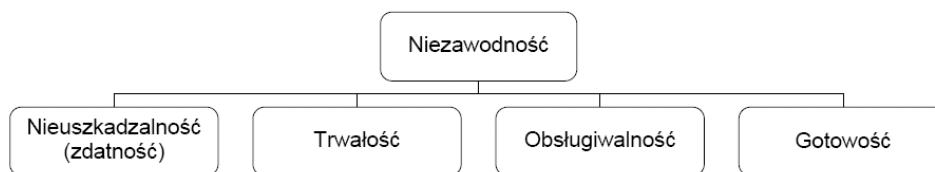
$$G_n(t) = \int_0^t G_{n-1}(t-x)dG(x); \quad G_1(t) = G(t) \quad (12)$$

Stąd funkcję odnowy można określić zależnością [2]:

$$H(t) = \sum_{n=1}^{\infty} \Phi_n(t) \quad (13)$$

4. WSKAŹNIKI NIEZAWODNOŚCI ŚRODKÓW TRANSPORTU SZYNOWEGO

Wszystkie powszechnie znane sposoby opisu niezawodności stosowane dla obiektów nieodnawialnych są niewystarczające do scharakteryzowania obiektów odnawialnych. Dlatego w ocenie niezawodności środków transportu szynowego, niezawodność należy traktować jako pojęcie kompleksowe, w którym mieszczą się takie cechy obiektu jak: nieuszkodzalność, gotowość, trwałość i obsługuwalność [4, 5, 6]. W praktyce wskaźniki niezawodności pojazdów szynowych grupowane są według schematu podanego na rysunku 2.



Rys.2. Podział wskaźników niezawodności środków transportu szynowego [7]

Nieuszkodzalność rozumiana jest jako zdolność pojazdu do wypełnienia wymaganych funkcji w danych warunkach eksploatacji i w danym przedziale czasu [8].

Trwałość charakteryzuje zdolność do zachowania stanu zdatności w określonych warunkach eksploatacji od wprowadzenia pojazdu do eksploatacji do likwidacji. Decyzja o likwidacji (wycofaniu z eksploatacji) może być podjęta ze względu na zły stan techniczny (względny bezpieczeństwa) lub ze względu na nieopłacalnie wysokie koszty eksploatacji.

Gotowość to zdolność pojazdu do utrzymywania się w stanie umożliwiającym wypełnienie wymaganych funkcji w danych warunkach, w danej chwili lub w danym przedziale czasu, przy założeniu, że dostarczane są wymagane środki zewnętrzne [8].

Obsługuwalność inaczej podatność na obsługę, definiuje się jako właściwość charakteryzującą przystosowanie do wykonywania napraw w celu odtworzenia stanu zdatności w określonych warunkach eksploatacji z wykorzystaniem ustalonych metod i środków.

Na podstawie danych eksploatacyjnych zgromadzonych w trakcie badań niezawodnościowych można otrzymać wiele różnych charakterystyk i wskaźników. W pełnej analizie niezawodności pojazdu szynowego poza funkcją odnowy,

proponuje się zastosować zestaw wskaźników zdefiniowanych w punktach 4.1 ÷ 4.4. Wskaźniki te mają zastosowanie do pojazdu jako całości jak również do jego podsystemów i elementów. Dla większości z nich zastosowano międzynarodowe oznaczenia i definicje zgodne z normami PN-93/N-50191 oraz PN-EN 61703 [1, 9].

4.1 Wskaźniki związane z nieuszkodzalnością

a) Dystrybuanta czasu poprawnej pracy do pierwszego uszkodzenia: $F(t)$

$$F(t) = \int_0^t f(x) dx, \quad t \geq 0 \quad (14)$$

gdzie:

$f(t)$ – funkcja gęstości prawdopodobieństwa czasu poprawnej pracy pojazdu do pierwszego uszkodzenia, tj. $f(t)\Delta t$ jest w przybliżeniu prawdopodobieństwem tego, że uszkodzenie pojazdu nastąpi w przedziale czasu $(t, t + \Delta t)$.

b) Intensywność (parametr) strumienia uszkodzeń: $z(t)$

Charakteryzuje zawodność pojazdu podczas jego użytkowania mierzona oczekiwaną liczbą uszkodzeń liczoną na jednostkę czasu (lub przebiegu).

$$z(t) = \frac{dE[N(t)]}{dt} \quad (15)$$

gdzie:

$E[N(t)]$ – wartość oczekiwana liczby uszkodzeń do chwili t .

Przy wyznaczaniu $z(t)$ informacje o pracy pojazdu mogą być uzyskane tylko z okresów międzynaiprawczych. Znane metody wyznaczania intensywności strumienia uszkodzeń zakładają, że w tym celu powinien być wykonany eksperyment, w ciągu którego w czasie t liczba badanych pojazdów N nie ulega zmianie. Każdy uszkodzony pojazd naprawia się lub wymienia na nowy, po czym kontynuuje się pracę aż do zakończenia eksperymentu. W czasie eksperymentu rejestruje się liczbę uszkodzeń $n_i(\Delta t)$, które wystąpiły w każdym i -tym przedziale czasu $[i\Delta t, (i+1)\Delta t]$. W warunkach eksperymentu, jako oszacowanie statystyczne $z(t)$ stosuje się następujący wzór [10]:

$$z^*(t) = \frac{n_i(\Delta t)}{N(0) \cdot \Delta t} \quad (16)$$

gdzie:

$N(0)$ – ogólna liczba elementów,
 $n_i(\Delta t)$ – liczba uszkodzeń w i -tym przedziale czasu Δt ,
 Δt – przedział czasu pracy.

c) Średnia intensywność strumienia uszkodzeń: $z(t_1, t_2)$

$$z(t_1, t_2) = \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} z(t) dt \quad (17)$$

Średnią intensywność strumienia uszkodzeń można interpretować jako oczekiwaną liczbę uszkodzeń przypadającą w przedziale czasu (t_1, t_2) .

Oszacowaniem statystycznym $z(t_1, t_2)$ jest [1]:

$$z^*(t_1, t_2) = \frac{n(t_1, t_2)}{N(0) \cdot (t_2 - t_1)} \quad (18)$$

gdzie:

$N(0)$ – ogólna liczba elementów,
 $n(t_1, t_2)$ – liczba uszkodzeń w przedziale czasu (t_1, t_2) ,
 $(t_2 - t_1)$ – przedział czasu pracy.

4.2 Wskaźniki związane z trwałością

Z niezawodnością łączy się pojęcie trwałości. Pojazd niezawodny to taki, który możliwie najrzadziej uszkadza się. Natomiast pojazd trwały to taki, który można możliwie długo użytkować zgodnie z przeznaczeniem, niezależnie od ilości

uszkodzeń, jakie w czasie tego użytkowania występują. Trwałość może być mierzona przez różne wskaźniki. W odniesieniu do środków transportu szynowego najczęściej stosowane są wskaźniki oparte na czasie pracy lub przebiegu wyrażonym w kilometrach.

a) Oczekiwany czas do pierwszego uszkodzenia: $MTTF$

$$MTTF = \int_0^{\infty} t \cdot f(t) dt \quad (19)$$

gdzie:

$f(t)$ – funkcja gęstości prawdopodobieństwa czasu poprawnej pracy do pierwszego uszkodzenia.
Oszacowanie statystyczne [3]:

$$MTTF^* = \frac{1}{N(0)} (t_1 + t_2 + \dots + t_{N(0)}) = \frac{1}{N(0)} \sum_{i=1}^{N(0)} t_i \quad (20)$$

gdzie:

$N(0)$ – ogólna liczba elementów,
 t_i – realizacja losowa czasu poprawnej pracy do pierwszego uszkodzenia elementu i .

b) Oczekiwany czas poprawnej pracy od chwili zakończenia $(k-1)$ odnowy do uszkodzenia o numerze k : $MTBF_k$

$$MTBF_k = \int_0^{\infty} t \cdot f_k(t) dt \quad (21)$$

gdzie:

$f_k(t)$ – funkcja gęstości prawdopodobieństwa czasu poprawnej pracy między $(k-1)$ odnową, a uszkodzeniem o numerze k .

Oszacowanie statystyczne [3]:

$$MTBF_k^* = \frac{1}{N(0)} (t_1^{(k)} + t_2^{(k)} + \dots + t_{N(0)}^{(k)}) = \frac{1}{N(0)} \sum_{i=1}^{N(0)} t_i^{(k)} \quad (22)$$

gdzie:

$N(0)$ – ogólna liczba elementów,
 $t_i^{(k)}$ – realizacja losowa czasu pracy elementu po $(k-1)$ odnowie do chwili uszkodzenia o numerze k .
Oszacowanie statystyczne w przedziale czasu $(0, t)$ [4]:

$$MTBF_k^* = \frac{TZ}{N} \quad (23)$$

gdzie:

TZ – sumaryczny czas poprawnej pracy elementu w czasie $(0, t)$,
 N – liczba uszkodzeń elementu w czasie $(0, t)$.

4.3 Wskaźniki związane z obsługiwalnością

a) Dystrybuanta czasu usuwania uszkodzenia (odnowy): $G(t)$

$$G(t) = \int_0^t g(x) dx \quad (24)$$

gdzie:

$g(x)$ – funkcja gęstości prawdopodobieństwa czasu odnowy pojazdu, tj. $g(t) \cdot \Delta t$ jest w przybliżeniu prawdopodobieństwem tego, że niezdatnemu pojazdowi zostanie przywrócony stan zdatności w przedziale czasu $(t, t + \Delta t)$ zakładając, że uszkodzenie powodujące niezdatność wystąpiło w chwili $t = 0$.

b) Oczekiwany czas usuwania uszkodzenia: $MTTR$

$$MTTR = \int_0^{\infty} t \cdot g(t) dt \quad (25)$$

Oznaczenia j. w.

Oszacowanie statystyczne $MTTR$ [3]:

$$MTTR^* = \frac{1}{N(0)} (U_1 + U_2 + \dots + U_{N(0)}) = \frac{1}{N(0)} \sum_{i=1}^{N(0)} U_i \quad (26)$$

gdzie:

$N(0)$ – ogólna liczba elementów,

U_i – realizacja losowa czasu odnowy elementu i .

W podobny sposób można oszacować oczekiwany czas obsługi profilaktycznych pojazdów, wykonywanych w ramach cyklu utrzymania.

4.4 Wskaźniki związane z gotowością techniczną

a) Stacjonarny wskaźnik gotowości operacyjnej A_O i rzeczywistej A_R

Wskaźnikiem gotowości nazywamy prawdopodobieństwo tego, że w chwili t pojazd znajduje się w stanie zdatności. Wskaźnik gotowości technicznej spełnia następujące równanie [2]:

$$A(t) = 1 - F(t) + \int_0^t [1 - F(t - \tau)] h(\tau) d\tau \quad (27)$$

gdzie:

$h(t)$ – funkcja gęstości odnowy $h(t) = \frac{H(t)}{dt}$

Powyższy wzór prawie nigdy nie jest wykorzystywany w praktyce, ponieważ pod pojęciem współczynnika gotowości technicznej pojazdu rozumie się wartość stacjonarną, do której dąży funkcja $A(t)$ ze wzrostem czasu [2]:

$$A = \frac{T_0}{T_0 + U_0} \quad (28)$$

gdzie:

T_0 – średni czas przebywania pojazdu w stanie zdatności,

U_0 – średni czas przebywania pojazdu w stanie niezdatności.

Wskaźnik gotowości technicznej nazywany krótko gotowością jest podstawową charakterystyką niezawodności obiektów odnawialnych. Uwzględnia zarówno uszkodzalność pojazdu jak i jego obsługiwalność. Ze względu na to, że środki transportu szynowego podlegają obsłudze bieżącym, jak również obsłudze profilaktycznej, wzorując się na pracy [4] wyróżniono dwa rodzaje gotowości technicznej:

- gotowość operacyjną (A_O), przy obliczeniach, której uwzględnia się czas przebywania pojazdu w stanie niezdatności wywołanym uszkodzeniem (naprawy bieżące),
- gotowość rzeczywistą (A_R), przy obliczeniach, której uwzględnia się zarówno czas przebywania pojazdu w stanie niezdatności wywołanym uszkodzeniem, jak i czas przebywania pojazdu w obsłudze profilaktycznej (poziomy utrzymania).

W celu dokonania oceny gotowości pewnej zbiorowości pojazdów, w określonym przedziale czasu ($0, t$), np.: pomiędzy naprawami okresowymi, gotowość operacyjną można oszacować ze wzoru:

$$A_O = \frac{\sum_{i=1}^N TZ_i}{\sum_{i=1}^N TZ_i + \sum_{i=1}^N TN_i} \quad (29)$$

gdzie:

TZ_i – czas przebywania pojazdu o numerze (i) w stanie zdatności,

TN_i – czas przebywania pojazdu o numerze (i) w stanie niezdatności,

N – liczność próby pojazdów pobranych do badań.

Gotowość rzeczywistą natomiast:

$$A_R = \frac{\sum_{i=1}^N TZ_i}{\sum_{i=1}^N TZ_i + \sum_{i=1}^N TN_i + \sum_{i=1}^N TO_i} \quad (30)$$

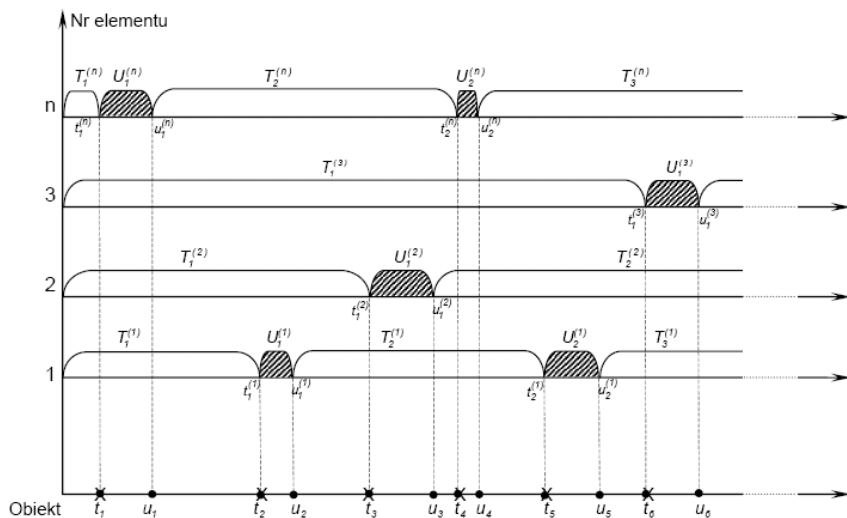
gdzie:

TO_i – czas przebywania pojazdu o numerze (i) w stanie niezdatności z powodu usług profilaktycznych, pozostałe oznaczenia j.w.

5. ŚRODEK TRANSPORTU SZYNOWEGO JAKO OBIEKT ZŁOŻONY

W sensie niezawodności środek transportu szynowego jest obiektem złożonym. Składa się z podsystemów i elementów o szeregowej strukturze niezawodnościowej, czyli uszkodzenie dowolnego z nich powoduje uszkodzenie całego pojazdu.

Na rysunku 3 pokazano przykładowy model n elementowego obiektu ze skończonymi czasami odnów. Na rysunku tym przez t_1, t_2, t_3, \dots oznaczono chwile uszkodzeń obiektu, a przez u_1, u_2, u_3, \dots oznaczono chwile odnów. Jeżeli chwile uszkodzeń i odnów wszystkich elementów zaznaczyć na wspólnej osi to otrzymamy strumień uszkodzeń i strumień odnowy, będący sumą n procesów uszkodzeń (odnowy), bowiem tyle jest elementów w obiekcie.



Rys.3. Model uszkodzeń i odnów obiektu złożonego z n elementów odnawialnych połączonych szeregowo

Analizując pojazd szynowy jako obiekt złożony składający się z n -elementów odnawialnych i zakładając, że:

- praca, uszkodzenia i odnowienia jednego typu elementu nie wpływają na niezawodność pozostałych,
 - chwile uszkodzeń (odnów) każdego elementu stanowią proces uszkodzeń (odnowy),
 - uszkodzenie dowolnego elementu powoduje uszkodzenie pojazdu,
 - wszystkie czasy poprawnej pracy i -tego elementu mają jednakowy rozkład,
 - wszystkie czasy odnowy i -tego elementu mają również jednakowy rozkład,
- to podstawowe charakterystyki niezawodnościowe pojazdu można przedstawić następująco:

a) Zmienna losowa przedstawiająca liczbę uszkodzeń pojazdu $N_p(t)$ do chwili t :

$$N_p(t) = N_1(t) + N_2(t) + \dots + N_i(t) + \dots + N_n(t) \quad (31)$$

gdzie:

$N_i(t)$ – zmienna losowa oznaczająca liczbę uszkodzeń i -tego elementu do chwili t

b) Średnia liczba uszkodzeń pojazdu do chwili t , czyli funkcja odnowy pojazdu $H_p(t)$:

$$H_p(t) = E[N(t)] = \sum_{i=1}^n E[N_i(t)] = \sum_{i=1}^n H_i(t) \quad (32)$$

gdzie:

$H_i(t)$ – funkcja odnowy i-tego elementu (podsystemu) pojazdu

c) Gotowość techniczna pojazdu A_p :

$$A_p = A_1 \cdot A_2 \cdot \dots \cdot A_n = \prod_{i=1}^n A_i \quad (33)$$

gdzie:

A_i – gotowość techniczna i-tego elementu (podsystemu)

6. PODSUMOWANIE

Środki transportu szynowego w ocenie niezawodności należy traktować jako obiekty odnawialne. Dla tego typu obiektów, metody opisu niezawodności stosowane do obiektów nieodnawialnych pracujących do pierwszego uszkodzenia, np.: z użyciem funkcji niezawodności $R(t)$ lub intensywności uszkodzeń $\lambda(t)$ są niewystarczające. W kompleksowej analizie niezawodności środków transportu szynowego należy zastosować szeroki zestaw wskaźników, który został zaproponowany w punktach 3 i 4 niniejszego artykułu.

7. BIBLIOGRAFIA

- [1] PN-EN 61703:2002 *Wyrażenia matematyczne dotyczące nieuszkodzalności, gotowości, obsługiwalności i zapewnienia środków obsługi.*
- [2] Gniedenko B. W., Bielajew J. K., Sołowiew A. D.: *Metody matematyczne w teorii niezawodności*, Warszawa, WNT, 1968.
- [3] Hebda M., Janicki D.: *Trwałość i niezawodność samochodów w eksploatacji*, Warszawa, WKiŁ, 1977.
- [4] Adamkiewicz W., Hempel L., Podsiadło A., Śliwiński R.: *Badania i ocena niezawodności maszyny w systemie transportowym*, Warszawa, WKiŁ, 1983.
- [5] Bucior J.: *Podstawy teorii i inżynierii niezawodności*, Rzeszów, Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, 2004.
- [6] Niewczas A.: *Modelowanie zużycia i ocena niezawodności silników spalinowych*, Wydawnictwo Politechniki Lubelskiej, 1998.
- [7] Oprzędkiewicz J.: *Niezawodność maszyn*, Kielce, Skrypty Uczelniane Politechniki Świętokrzyskiej, 1981.
- [8] Zwierzycki W.: *Prognozowanie niezawodności zużywających się elementów maszyn*, Radom, Wydawnictwo Instytutu Technologii Eksploatacji, 1999.
- [9] PN-93/N-50191 *Słownik terminologiczny elektryki. Niezawodność; jakość usługi.*
- [10] Migdalski J. (Redaktor Naukowy): *Poradnik Tom II: inżynieria niezawodności*, Warszawa, ZETOM, 1992.