

BOJAR Piotr¹
MIGAWA Klaudiusz

Bezpieczeństwo jako kryterium eksploatacji środków transportu

WSTĘP

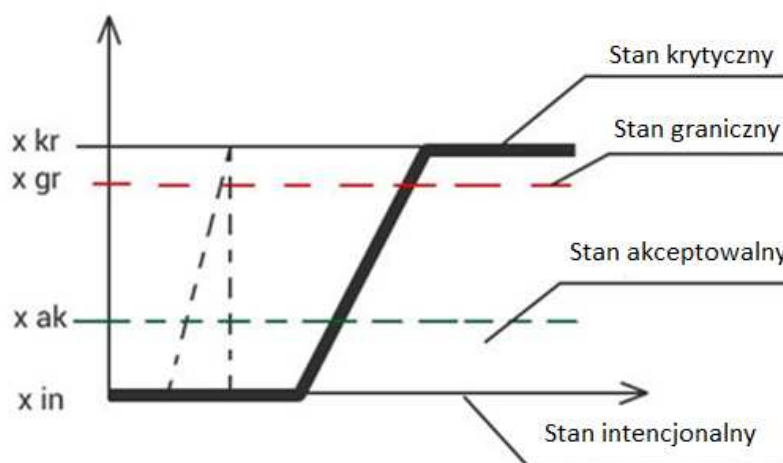
Teoria bezpieczeństwa zawiera opis zdarzeń zagrażających zdrowiu ludzi, istnieniu obiektów technicznych i środowisku naturalnemu, oraz przedstawia zasady analizy systemów z punktu widzenia bezpieczeństwa [3].

W literaturze z zakresu bezpieczeństwa systemów wyróżnia się dwa podstawowe pojęcia: bezpieczeństwo i bezpieczeństwo. Bezpieczeństwo systemu definiowana jako cecha systemu warunkująca takie jego istnienie i funkcjonowanie, które nie zagraża życiu i zdrowiu operatora oraz innych ludzi znajdujących się w zasięgu oddziaływania systemu, nie zagraża sam sobie, a także nie zagraża istnieniu i nie zakłóca prawidłowego funkcjonowania innych systemów oraz środowisku, które go otacza [1, 2, 4, 5], bezpieczeństwo jest właściwością względną – jej poziom zależy nie tylko od wartości cech opisujących system, ale także od oddziaływań otoczenia, i oddziaływań sterujących operatorem [1].

Bezpieczeństwo systemu definiuje się jako jego stan. Stan systemu S_{Ti} , w chwili t wyznaczają chwilowe wartości cech x_j , $j=1,2,3,\dots,k$, zbioru X utworzonego z punktu widzenia jego bezpieczeństwa.

1. WARTOŚCI GRANICZNE CECH BEZPIECZNOŚCIOWYCH

Ponieważ system pod wpływem oddziaływań czynników wymuszających zmienia w czasie swoje stany, to konieczne jest ustalenie wartości granicznych x_{gr} i krytycznych x_{kr} cech wyznaczających jego stan. Bezpieczeństwo to cecha przyjmująca różne wartości w zależności od stanów bezpieczeństwa. W pracy zaproponowano następującą klasyfikację stanów bezpieczeństwa: 1 – stan intencjonalny, w którym wartości cech opisujących system osiągnęły oczekiwane wartości, 2 – stan akceptowalny, w którym wartości cech opisujących system mieszczą się w ustalonych granicach, 3 – stan graniczny, w którym co najmniej jedna z cech opisujących system osiągnęła wartość graniczną, 4 – stan krytyczny, osiągnięcie które oznacza możliwość zniszczenia systemu.



Rys. 1. Interpretacja graficzna stanów bezpieczeństwa systemu

Stan w którym opisane zmienne przyjmą następujące wartości: $x = 0$, $y = 0$, $z = 0$ nazywamy intencjonalnym stanem bezpieczeństwa S_1 , stan ten opisano zależnością (1).

¹ Uniwersytet Technologiczno – Przyrodniczy w Bydgoszczy, Wydział Inżynierii Mechanicznej, Zakład Transportu i Eksploatacji, al. Prof. S. Kaliskiego 7, 85-789 Bydgoszcz, pbbojar@gmail.com

$$S_1 = \{x_i(t_i) = 0, y_i(t_i) = 0, z_i(t_i) = 0\} \quad (1)$$

Natomiast stan systemu w którym wartości cech bezpieczeństwa opisujących system nie przekraczają wartości granicznych nazywamy stanem akceptowalnym bezpieczeństwa działania systemu S_2 (2).

$$S_2 = \{0 < x_i(t_i) < x_{gr}, 0 < y_i(t_i) < y_{gr}, 0 < z_i(t_i) < z_{gr}\} \quad (2)$$

Stan w którym wartości cech bezpieczeństwowch przyjmą wartości graniczne lub je przekroczą nazywamy granicznym stanem bezpieczeństwa S_3 , stan ten opisano zależnością (3).

$$S_3 = \{x_{gr} \leq x_i(t_i) < x_{kr}, y_{gr} \leq y_i(t_i) < y_{kr}, z_{gr} \leq z_i(t_i) < z_{kr}\} \quad (3)$$

Stan systemu w którym wartości cech bezpieczeństwa opisujących system osiągnęły lub przekroczyły wartość cech krytycznych nazywamy krytycznym stanem bezpieczeństwa S_4 (4).

$$S_4 = \{x \geq x_{kr}, y \geq y_{kr}, z \geq z_{kr}\} \quad (4)$$

Interpretację graficzną bezpieczeństwa działania systemu przedstawiono na rysunku 1. Jak wynika z rysunku stan intencjonalny bezpieczeństwa jest wówczas gdy wartości ustalonych cech przyjmują wartości równe zero. Jeżeli wartości cech bezpieczeństwowch przyjmą wartości większe od zera lecz mniejsze od wartości granicznych to system znajduje się w stanie akceptowalnym. Oznacza to że, od stanu systemu zależy jego bezpieczeństwo. W stanie 1 i 2 system charakteryzuje się bezpieczeństwem, natomiast zmian stanu na 3 lub 4 powodują utratę bezpieczeństwa i oznacza że system znalazł się w stanie granicznym lub krytycznym. Przebywanie systemu w stanie granicznym oznacza że decydenci mają czas na podjęcie działań uzdatniających i poprawę stanu na akceptowalny lub intencjonalny. Brak podjęcia działań uzdatniających spowodują zmianę stanu na krytyczny w którym niemożliwa jest dalsza realizacja celu systemu.

2. ZDARZENIOWY MODEL BEZPIECZNOŚCI SYSTEMU

Na podstawie powyższych rozważań zaproponowano w pracy zdarzeniowy model bezpieczeństwa systemu transportowego. W modelu tym wyróżniono cztery stany bezpieczeństwowch:

S1-intencjonalny,

S2-akceptowalny,

S3-graniczny

S4-krytyczny.

Na rysunku 2 przedstawiono czterostanowy graf skierowany oceny bezpieczeństwa systemu. Na którym:

$\lambda_1(t)$ - intensywność przejścia ze stanu intencjonalnej bezpieczeństwa do bezpieczeństwa akceptowalnej

$\lambda_2(t)$ - intensywność przejścia ze stanu intencjonalnej bezpieczeństwa do bezpieczeństwa granicznej

$\lambda_3(t)$ - intensywność przejścia ze stanu intencjonalnej bezpieczeństwa do bezpieczeństwa krytycznej

$\lambda_4(t)$ - intensywność przejścia ze stanu akceptowalnej bezpieczeństwa do bezpieczeństwa granicznej

$\lambda_5(t)$ - intensywność przejścia ze stanu akceptowalnej bezpieczeństwa do bezpieczeństwa krytycznej

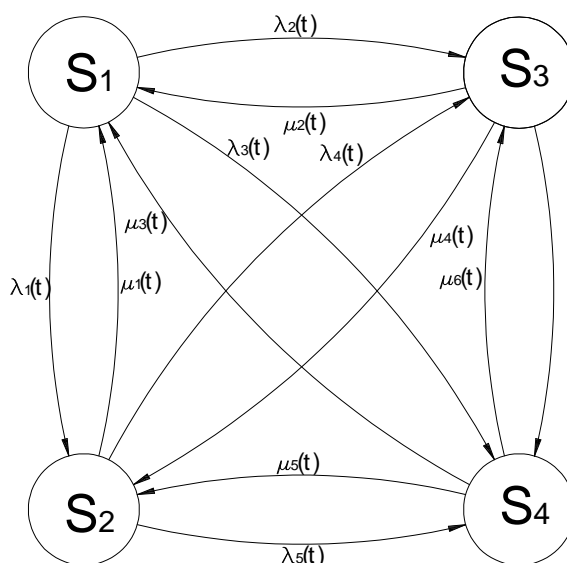
$\lambda_6(t)$ - intensywność przejścia ze stanu granicznej bezpieczeństwa do bezpieczeństwa krytycznej

$\mu_1(t)$ - intensywność przejścia ze stanu akceptowalnej bezpieczeństwa do bezpieczeństwa intencjonalnej

$\mu_2(t)$ - intensywność przejścia ze stanu granicznej bezpieczeństwa do bezpieczeństwa intencjonalnej

$\mu_3(t)$ - intensywność przejścia ze stanu krytycznej bezpieczeństwa do bezpieczeństwa intencjonalnej

$\mu_4(t)$ - intensywność przejścia ze stanu granicznej bezpieczeństwa do bezpieczeństwa akceptowalnej
 $\mu_5(t)$ - intensywność przejścia ze stanu krytycznej bezpieczeństwa do bezpieczeństwa akceptowalnej
 $\mu_6(t)$ - intensywność przejścia ze stanu krytycznej bezpieczeństwa do bezpieczeństwa granicznej



Rys.2. Graf skierowany oceny bezpieczeństwa systemu [2]

3. ŁAŃCUCH MARKOWA DLA ZAPROPONOWANEGO MODELU

Na podstawie grafu skierowanego przedstawionego na rysunku 2 została zbudowana macierz P prawdopodobieństw zmian stanów dla łańcucha Markowa

$$P = \begin{pmatrix} 0 & p_{12} & p_{13} & p_{14} \\ p_{21} & 0 & p_{23} & p_{24} \\ p_{31} & p_{32} & 0 & p_{34} \\ p_{41} & p_{42} & p_{43} & 0 \end{pmatrix} \quad (5)$$

$$P^T = \begin{pmatrix} 0 & p_{21} & p_{31} & p_{41} \\ p_{12} & 0 & p_{32} & p_{42} \\ p_{13} & p_{23} & 0 & p_{43} \\ p_{14} & p_{24} & p_{34} & 0 \end{pmatrix} \quad (6)$$

gdzie

p_{ij} – prawdopodobieństwo przejścia ze stanu S_i do stanu S_j .

Pierwszym etapem wyznaczenia prawdopodobieństw granicznych dla łańcucha Markowa jest zbudowanie układu równań macierzowych

$$P^T \cdot \Pi = \Pi \quad (7)$$

$$\begin{pmatrix} 0 & p_{21} & p_{31} & p_{41} \\ p_{12} & 0 & p_{32} & p_{42} \\ p_{13} & p_{23} & 0 & p_{43} \\ p_{14} & p_{24} & p_{34} & 0 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \pi_1 \\ \pi_2 \\ \pi_3 \\ \pi_4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \pi_1 \\ \pi_2 \\ \pi_3 \\ \pi_4 \end{pmatrix} \quad (8)$$

Układ równań macierzowych można zapisać w postaci układu równań liniowych

$$\sum_i p_{ij} \cdot \pi_i = \pi_j \quad (9)$$

$$\begin{cases} p_{21} \cdot \pi_2 + p_{31} \cdot \pi_3 + p_{41} \cdot \pi_4 = \pi_1 \\ p_{12} \cdot \pi_1 + p_{32} \cdot \pi_3 + p_{42} \cdot \pi_4 = \pi_2 \\ p_{13} \cdot \pi_1 + p_{23} \cdot \pi_2 + p_{43} \cdot \pi_4 = \pi_3 \\ p_{14} \cdot \pi_1 + p_{24} \cdot \pi_2 + p_{34} \cdot \pi_3 = \pi_4 \end{cases} \quad (10)$$

czyli

Układ równań liniowych jest układem zależnym. Aby rozwiązać ten układ jedno z równań układu zostało zastąpione warunkiem normalizacyjnym postaci

$$\sum_i \pi_i = 1 \quad (11)$$

Wówczas układ równań liniowych przy uwzględnieniu warunku normalizacyjnego został zapisany w postaci

$$\begin{aligned} \pi_1 \cdot \pi_2 + \pi_3 + \pi_4 &= 1 \\ p_{12} \cdot \pi_1 + p_{32} \cdot \pi_3 + p_{42} \cdot \pi_4 &= \pi_2 \\ p_{13} \cdot \pi_1 + p_{23} \cdot \pi_2 + p_{43} \cdot \pi_4 &= \pi_3 \\ p_{14} \cdot \pi_1 + p_{24} \cdot \pi_2 + p_{34} \cdot \pi_3 &= \pi_4 \end{aligned} \quad (12)$$

W wyniku rozwiązania układu równań liniowych otrzymano prawdopodobieństwa graniczne π_i przebywania w stanach S_i dla łańcucha Markowa, opisane następującymi zależnościami

$$\pi_1 = \frac{b \cdot p_{23}}{1 + (p_{23} - p_{43}) \cdot a + (p_{23} - p_{13}) \cdot b + p_{23}} \quad (13)$$

$$\pi_2 = \frac{1 - p_{13} \cdot b - p_{43} \cdot a}{1 + (p_{23} - p_{43}) \cdot a + (p_{23} - p_{13}) \cdot b + p_{23}} \quad (14)$$

$$\pi_3 = \frac{1 \cdot p_{23}}{1 + (p_{23} - p_{43}) \cdot a + (p_{23} - p_{13}) \cdot b + p_{23}} \quad (15)$$

$$\pi_4 = \frac{a \cdot p_{23}}{1 + (p_{23} - p_{43}) \cdot a + (p_{23} - p_{13}) \cdot b + p_{23}} \quad (16)$$

gdzie

$$a = \frac{(1 - p_{23} \cdot p_{32}) \cdot (p_{24} \cdot p_{12} \cdot p_{14}) + (p_{34} + p_{24} \cdot p_{32}) \cdot (p_{23} \cdot p_{12} + p_{13})}{(1 - p_{24} \cdot p_{42}) \cdot (p_{23} \cdot p_{12} + p_{13}) + (p_{43} + p_{23} \cdot p_{42}) \cdot (p_{24} \cdot p_{12} + p_{14})} \quad (17)$$

$$b = \frac{a(1 - p_{24} \cdot p_{42}) - p_{34} - p_{24} \cdot p_{32}}{p_{24} \cdot p_{12} + p_{14}} \quad (18)$$

WNIOSKI

W pracy przedstawiono propozycję budowy czterostanowego modelu oceny bezpieczeństwa systemu transportowego. W zaproponowanym modelu wyznaczono prawdopodobieństwa granicznych dla łańcucha Markowa. Kolejnym etapem będzie wyznaczenie prawdopodobieństw dla procesu Markowa. Zaproponowany w pracy model jest modelem uniwersalnym który może zostać wykorzystany do oceny bezpieczeństwa dowolnego systemu transportowego. Konkretnie wyniki oceny realizowanego procesu dla wybranego systemu transportowego zostaną przedstawiono w kolejnych pracach autorów.

Streszczenie

Identyfikacja wartości brzegowych i cech, które opisują bezpieczeństwo działania systemu jest kluczowym problemem dla oceny bezpieczeństwa działania systemu. W artykule, przedstawiono model oceny bezpieczeństwa dowolnego systemu transportowego. Przedstawiony model stanowi nowatorskie podejście do oceny systemów transportowych z punktu widzenia kryterium jego bezpieczeństwa. W modelu tym zakłada się cztery stany bezpieczeństwa systemu. Pierwszy stan intencjonalny, który odzwierciedla sytuację bez wypadków i kolizji drogowych oraz uszkodzonych w tych wypadkach. Drugi stan to stan akceptowalny, w stanie tym występują kolizje drogowe, czyli na skutek zaistniałych zdarzeń nie ma ofiar są tylko straty materialne. Stan graniczny to stan w którym doszło do wypadku drogowego lecz na jego skutek wystąpiły tylko osoby ranne, ostatni z rozpatrywanych stanów to stan krytyczny w którym zaistniały wypadki drogowe i zginęła co najmniej jedna osoba. W pracy wyznaczono prawdopodobieństwa dla zbudowanego łańcucha Markowa.

Safety as the main criterion for the operation of transport

Abstract

Identification of the limit values and characteristics that describe the security of the system is a key concern for the safety assessment of the system. The article presents a model safety evaluation of any transport system. The model is an innovative approach to the evaluation of transport systems from the point of view of its safety. In this model assumes four states system safety. The first intentional state, which reflects the situation without road accidents and collisions and victims in these cases. The second condition is a condition acceptable, in this state there are road collisions, or as a result of events occurring no people injured, only material losses. Limit state is a condition in which the accident occurred on the road but its effect occurred person injured, the last of the concerned states is a critical state in which accidents occurred and killed at least one person. In the study, the probability of the constructed Markov chain.

BIBLIOGRAFIA

1. Bojar P., Woropay M.: Bezpieczeństwo w świetle różnorodnych wymuszeń. Praca zbiorowa pod redakcją Tadeusza Dąbrowskiego. Badanie i Wnioskowanie Diagnostyczne – wybrane zagadnienia. Wojskowa Akademia Techniczna, Warszawa 2013
2. Bojar P., Woropay M.: Road transport systems safety criteria. Journal of KONES Powertrain and Transport, Vol. 20, No. 4 2013
3. Jaźwiński J., Ważyńska – Fiok K.: Bezpieczeństwo systemów. PWN, Warszawa 1993.
4. Radkowski S.: Podstawy bezpiecznej techniki. Oficyna wydawnicza Politechniki Warszawskiej. Warszawa 2003.

5. Smalko Z.: Charakterystyki spolegliwości układu Człowiek - Maszyna - Otoczenie. XXXV Zimowa Szkoła Niezawodności - Szczyrk 2007.
6. Smalko Z.: Studium terminologiczne inżynierii bezpieczeństwa transportu. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej. Wrocław 2010