

Igor Ariefjew

Akademia Morska w Szczecinie

Alexsandr Volovik, Alexsandr Klavdiev

Uniwersytet Mineralno-Surowcowy « Górnicy » (Sankt-Petersburg)

PROGNOZOWANIE BEZPIECZEŃSTWA OBIEKTÓW TRANSPORTOWYCH METODAMI STATYSTYKI EKSTREMALNEJ

Rękopis dostarczono, marzec 2013

Streszczenie: W ostatnim czasie w dziedzinie transportu pojawiło się pilne zadanie sprowadzenia do minimum występowania wypadków i katastrof, których przyczyną są awarie elementów funkcjonalnych. Obecnie jeszcze nie sformułowano rozwiniętej teorii rozwiązania takich zadań. Autorzy proponują sposób rozwiązania postawionego zadania na podstawie metodologii statystyki ekstremalnej i zasady informacyjnej Jaynes'a. Przedstawiony w artykule przykład i obliczenia dowodzą takiej możliwości, do ekstremalnego poziomu statystycznego wyboru włącznie, gdy jego wielkość osiąga wielkość $n = 2$. Metoda pozwala realizować podjęcie decyzji według wybranych obserwacji, gdy o charakterze podziału nie wiadomo nic oprócz wartości oczekiwanej wielkości losowej.

Słowa kluczowe: bezpieczeństwo, transport, statystyka

1. WSTĘP

W początku XXI wieku w ramach teorii niezawodności powstały dwa kierunki naukowe, posiadających jednolity aparat statystyki matematycznej, ale różne obiekty analizy: niezawodność środków technicznych i niezawodność systemów człowiek-maszyna.

W pierwszym przypadku rozpatrywane są metody i rozwiązania prowadzące do zwiększenia poziomu niezawodności, wydajności eksploatacji i odporności na zużycie systemów technicznych i ich elementów, urządzeń, automatów. Poszukiwanie rozwiązań na podstawie informacji o stanie takich obiektów z pełnym uzasadnieniem opiera się wyborach statystycznych, klasycznych metodach teorii prawdopodobieństwa.

Istniejące metodyki zwiększenia poziomu niezawodności, przeglądów planowych i profilaktycznych urządzeń (systemów) o różnym przeznaczeniu całkowicie spełniają wymagania zadania prognozowania ich bezpiecznej eksploatacji.

Inaczej przedstawia się sprawa w przypadku systemów człowiek-maszyna. Tutaj ostateczna decyzja w zakresie oceny i zmiany stanu obiektu, jego charakterystyk w procesie wykonania docelowej funkcji należy do człowieka-operatora. Tu główną rolę odgrywa bieżąca informacja, otrzymywana z przyrządów i systemów kontroli. Zbiór danych statystycznych w zakresie bieżącej informacji o charakterze awaryjnym (nie standardowym) praktycznie nie może występować w postaci dużych zbiorów. Najczęściej taka informacja jest jednostkowa lub odnosi się do klasy „małych wyborów”. Ten przypadek w całości odnosi się do systemów transportowych [1,7].

Informacja statystyczna o wydarzeniach związanych z obiektami transportowymi jest ograniczona i niejednolita. Takie wydarzenia są z reguły jednostkowe lub rzadko powtarzają się. Dlatego ocena bezpieczeństwa w transporcie odbywa się na poziomie jakościowym, ponieważ informacji dla jej oceny ilościowej przy użyciu aparatu matematycznego jest wyraźnie za mało.

A więc, niezbędna jest baza teoretyczna dla opracowania metod oceny niezawodności obiektów w warunkach „małych wyborów” i „wyborów jednostkowych”. Te metody powinny odzwierciedlać specyfikę eksploatacji systemów o wyższym stopniu niebezpieczeństwa, do których odnoszą się wszystkie obiekty ruchome, przede wszystkim transport. Ogół takich metod określimy terminem „*statystyka ekstremalna*”. Obiektem badań statystyki ekstremalnej są zbiory informacyjne, zbudowane według statystyki „małych wyborów”, a wynikiem są metody podjęcia decyzji opartych na analizie informacji jednostkowej.

2. BEZPIECZEŃSTWO INFORMACYJNE OBIEKTU TRANSPORTOWEGO

Tabor kolejowy, maszyny załadunkowo-rozładunkowe, dźwigi itd. pod względem technologii wykonywania swoich zadań są obiektami podwyższonego stopnia niebezpieczeństwa. W transporcie klasyfikacja niesprawności jest strukturalizowana według charakteru następstw:

- wypadek (katastrofa, awaria);
- wydarzenie (niesprawności nielocalizowane, pożary, wyłączenie silników w trakcie ruchu lub manewru, niesprawności agregatów i układów, nie posiadających dublowania);
- wymuszone przerywanie ruchu (zatrzymanie, osadzenie, dryf).

Jednak stwierdzone przyczyny awarii i katastrof transportowych w ciągu ostatnich dziesięcioleci dzielą się absolutnie nierównomiernie [8]:

- 98 % czynnik ludzki (pilot, nawigator, kierowca),
- 2 % czynnik techniczny (niezadziałanie, uszkodzenie).

Opisana sytuacja w zupełności jest uzasadniona tym, że urządzenia techniczne obrabiają i realizują informację według założonych algorytmów i programów, opartych na

standardowych lub wcześniej otrzymanych wynikach statystycznych. Z kolei człowiek zmuszony jest do podejmowania operatywnych decyzji w ekstremalnych warunkach, wykorzystując własną wiedzę i intuicję. Tego rodzaju decyzje oparte są na informacji o odmowie środków technicznych, w tym urządzeń automatycznych lub w warunkach powstania sytuacji nieprzewidzianej. A więc, głównym czynnikiem w podejmowaniu decyzji przez operatora jest nader ograniczona informacja o analogicznych (podobnych) przypadkach, które miały miejsce wcześniej. Jednocześnie informacja statystyczna o wydarzeniach (awariach, katastrofach) w transporcie jest jednostkowa nawet w ciągu długotrwałych okresów, mierzonych przez lata. Dlatego analiza sytuacyjna i podejmowanie decyzji powinno odbywać się w warunkach skrajnie ograniczonej informacji [5,6].

Łatwo zauważyć, że jeśli elementy techniczne (silniki, przyrządy nawigacyjne, układy automatyczne, środki przeciwpożarowe itp.) znajdują się w stanie roboczym, to informacja pochodząca od nich nosi charakter statyczny i nie wymaga od operatora specjalnych (niestandardowych) decyzji o zmianie charakterystyk ruchu. Każde dopuszczalne odchylenie jest ustalane i usuwane. Całkiem inna sytuacja powstaje w przypadku niesprawności tych elementów w trakcie ruchu, posiadających charakter sukcesywny lub lawinowy. Taka informacja o stanie obiektu i jego elementów jest przypadkowa i niezmiernie rzadka, a standardowe algorytmy podejmowania decyzji założone w układach automatycznych nie mogą jej zidentyfikować, ponieważ ich modele zostały oparte o duże wybory możliwych niesprawności elementów i zespołów technicznych. Otrzymane dane operatywne znajdują się na «końcach podziałów statystycznych». Modele takich przypadków można zbudować tylko pod warunkiem zastosowania aparatu statystycznego, opartego na skrajnie małej liczbie faktów [1,4]. Tak powstaje zadanie «**bezpieczeństwa informacyjnego**» obiektu transportowego: z założonym prawdopodobieństwem oceny granicy bezpiecznego stanu elementu (zespołu, urządzenia) w procesie jego eksploatacji.

Tu powstają dwa kierunki możliwych decyzji:

- dla oceny ilościowej niezbędne jest opracowanie metod, dających możliwość określenia niezawodności elementów według małej liczby obserwacji z wymaganą wiarygodnością;
- dla oceny interwałowej niezbędne są metody adekwatnie opisujące skrajne obszary podziałów w zakresie informacji ograniczonej.

Określenie «mały wybór» do dnia dzisiejszego jest dyskusyjne [1,5,7]. W literaturze spotykamy jego różne interpretacje: nieznaczny, mały, skrajnie mały, jednostkowy itd. Przyjmiemy liczbę $n = 30$ jako granicę między pojęciami «małego» i «zwykłego (dużego)» wyboru [6]. Autorzy uważają za podstawę tego twierdzenia wynik porównania podziału t z podziałem zwykłym. Nawet przy analizie wzrokowej tabelowych wielkości t można zauważyć, że to zbliżenie odbywa się z dostatecznie szybko, zaczynając właśnie od $n = 30$ i więcej [7]. Wtedy przyjmujemy wybory o wielkości mniejszej niż 30 obserwacji za «małe».

Analiza stanu obiektów według małej liczby obserwacji wymaga metod asymptotycznych, opartych na ekstremalnych podziałach. Ten kierunek w Teorii Podjęcia Decyzji nie został dotychczas ostatecznie rozpracowany. Stopień trudności sformułowania i rozwiązania zadań najlepszych ocen przy małej ilości materiału statystycznego zależy od konkretnego typu podziału, wielkości wyboru. Materiał statystyczny składa się z rzadkich danych, charakterystycznych dla warunków ekstremalnych, występujących w transporcie.

W tym przypadku uzyskanie wiarygodnego rozwiązania klasycznym sposobem opartym na granicznych podziałach jest nie realne. Proponowane jest rozwiązywanie tego zadania na podstawie informacyjnego podejścia, uwzględniającego zasadę maksimum nieokreśloności [3,4].

3. METODA STATYSTYCZNEJ OCENY BEZPIECZEŃSTWA INFORMACYJNEGO OBIEKTU

Nieokreśloność uzasadnionych decyzji w ekstremalnych sytuacjach zachowania się obiektów z powodu niezadziałania ich ważnych życiowo urządzeń technicznych i zespołów wymaga opracowania imitacyjnych metod adekwatnej oceny i prognozowania ich stanu. Niniejszy wniosek jest szczególnie aktualny dla systemów transportowych. U podstaw swojego działania znajdują się obiekty ruchome, stanowiące zwiększone niebezpieczeństwo ze względu na charakter spełniania funkcji docelowej.

Podstawę takiego aparatu powinien stanowić kompleks środków matematycznych, posiadających dwie podstawowe właściwości:

1. możliwość operowania informacją statystyczną o przypadkowym i jednostkowym charakterze o odmowach obiektów,
2. pełne uwzględnianie nieokreśloności statystycznych danych o niezawodności elementów (urządzeń), gdy znana jest tylko wartość oczekiwana pojawienia się ich odmów.

Najbardziej pożądanym w takim przypadku jest podejście informacyjne, które wykorzystuje zasadę maksimum nieoznaczoności (zasada Jaynes'a), opartą na uznaniu entropii Shannona. Dane podejście jest najmniej czułe w stosunku do początkowych przypuszczeń i ogólnie pozwala na uwzględnianie każdej ilości informacji [6].

Zasada maksimum nieokreśloności (maksimum entropii) pozwala uważać, że największą wiarygodność będą posiadać prawdopodobieństwa, które maksymalizują nieokreśloność z uwzględnieniem całej uzyskanej informacji. Miarą nieokreśloności jest entropia. Cechą zasadniczą (maksimum) nieokreśloności jest możliwość oceny apriorycznego podziału w sytuacjach informacyjnych, dla których znane są różne ograniczenia w postaci miary prawdopodobieństwa, poszczególnych charakterystyk momentowych itd. [7], które mogą być przedstawione w formie równości i nierówności. Z matematycznego punktu widzenia przy wykorzystaniu zasady maksimum nieokreśloności założenie takich ograniczeń doprowadza do rozwiązania klasycznych i nieklasycznych zadań optymalizacji (zadanie ekstremum).

Podstawą dla prowadzenia analizy stały się empiryczne obserwacje związane z awariami statków morskich i rzecznych w latach 2010 - 2012. [8].

Rozpatrzmy empiryczne gęstości podziału najmniejszej (ekstremalnej) wielkości w wyborach różnej wielkości n , otrzymanych przez imitacyjne modelowanie z populacji generalnej z wykładniczym prawem podziału, najbardziej charakterystycznym dla systemów transportowych [2]. Ich wyrównana postać przedstawiona jest na Rys 1.

Wraz z rosnącą wielkością wyboru, przy innych równych warunkach, podział najmniejszej wielkości losowej przesuwają się w stronę osi rzędnych. Teoretycznym uzasadnieniem twierdzenia są następujące pojęcia. Ogólnie funkcja podziału najmniejszej wielkości w wyborze o znaczeniu n posiada postać [5]:

$$F_{t_{\min}}(t_{\min}) = 1 - [1 - F(t_{\min})]^n \tag{1}$$

a zwartość, odpowiednio

$$f_{t_{\min}}(t_{\min}) = n[1 - F(t_{\min})]^{n-1} \cdot f(t_{\min}) \tag{2}$$

gdzie $F(\cdot)$ i $f(\cdot)$ – funkcja i zwartość początkowego podziału, n - wielkość prób

Wtedy zwartość podziału najmniejszej wielkości w wyborze z wykładniczo podzielonego ogółu zostanie zapisana w postaci:

$$f_{t_{\min}}(t_{\min}) = n\lambda e^{-n\lambda t_{\min}} \tag{3}$$

gdzie: $\lambda = \frac{1}{T}$ – parametr podziału;

T – wartość oczekiwana wielkości losowej t

t_{\min} - minimalna wartość n – próbki

Sens fizyczny wzoru (3) polega na tym, że najmniejsza wielkość wyboru przejawia się z intensywnością proporcjonalną do jej wielkości. Podział najmniejszej wielkości w wyborze, ogólnie, jest dwustronny. Jednak w warunkach rozwiązywanego zadania nas interesuje tylko lewa granica wyrażenia, która charakteryzuje najmniejszą (ekstremalną) wielkość losową. Dlatego sądzimy, że

$$F(T_{\min}) = \frac{\alpha}{2} \tag{4}$$

Wtedy wartość oczekiwana T – wartość oczekiwana wielkości losowej t , przyjmie postać [6]:

$$T_H = \frac{\alpha}{2} T \quad (5)$$

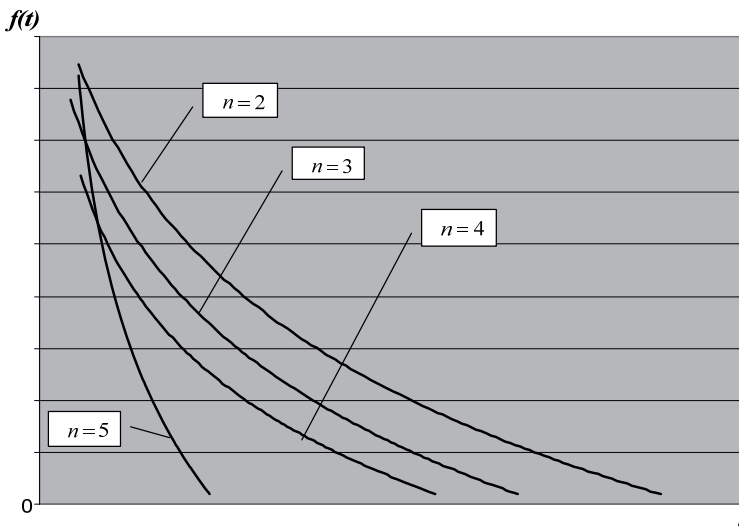
T_H – wartość oczekiwana wielkości losowej t

Teoretyczną wielkością T_H w tych samych warunkach okaże się

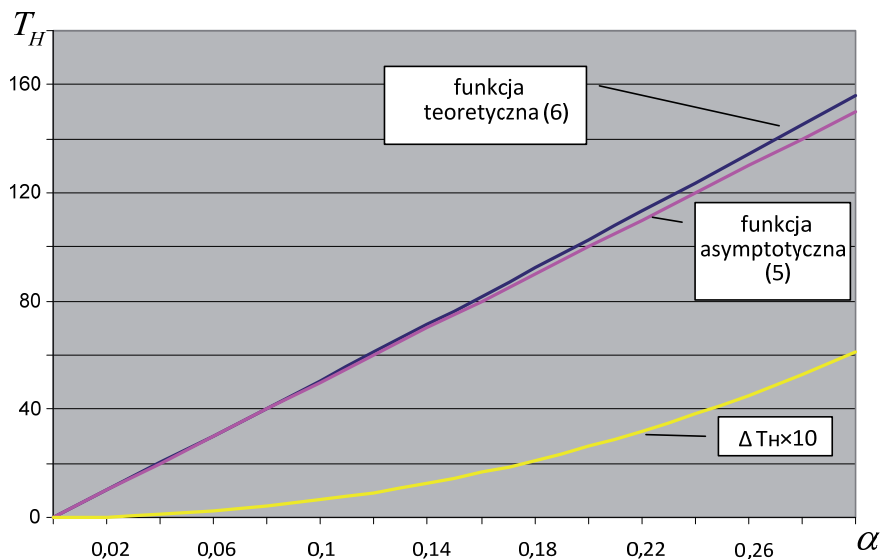
$$T_H = 2T \left(1 - \sqrt{1 - \frac{\alpha}{2}} \right) \quad (6)$$

Na Rys. 2 przedstawiono teoretyczną i asymptotyczną funkcję kwantyli podziału najmniejszej wielkości losowej z wyboru wykładniczo podzielonego ogółu. Tam również wykazane jest nieschodzenie się linii $\Delta T_H = T_H - T_H$, pomnożone dla proporcji na 10. Łatwo zauważyć, że różnica ΔT_H między wielkością teoretyczną i asymptotyczną dla wyboru minimalnej wielkości $n = 2$ w praktycznie stosowanym zakresie $\alpha \in [0; 0,2]$ nie przekracza 3 %. Eksperyment potwierdził dostateczną dokładność metody dla ekstremalnego przypadku wielkości wyboru $n = 2$ (Rys. 2).

W ten sposób przeprowadzona analiza nie ujawniła sprzeczności w przedstawieniu funkcji kwantyli statystyk porządkowych w postaci zależności asymptotycznej (5), gdy dla równomiernego prawa słuszne jest wyrażenie, które z dostateczną w praktyce dokładnością aproksymuje zależność (3) w zadanym zakresie.



Rys. 1. Empiryczne zwartości podziału najmniejszej wielkości w wyborze



Rys. 2. Wykresy teoretycznej i asymptotycznej funkcji kwantyli

4. WNIOSKI

W celach zapewnienia bezpieczeństwa ruchu jest niezbędna bezawaryjna eksploatacja zarówno wszystkich elementów obiektów transportowych, jak również ich systemów. Oczywistym jest, że absolutne usuwanie niezadziałań jest nierealne.

Wtedy niezbędne są środki minimalizacji awarii i katastrof w transporcie, których przyczyną są niezadziałania funkcjonalnych elementów, systemów kontroli i zarządzania.

Dany problem odnosi się do zadań Teorii Niezawodności. Ale zasadnicza różnica między nimi polega na tym, że statystyka niezadziałań w transporcie odnosi się do zadań «małego» i «jednostkowego» wyboru w długich odcinkach czasu..

Przedstawione w niniejszym opracowaniu podejście, oparte na metodologii Ekstremalnej statystyki świadczy o zasadniczej możliwości rozwiązania postawionego zadania do ekstremalnego poziomu statystycznego wyboru, gdy jego wielkość osiąga znaczenie $n = 2$.

Wyniki zaproponowanej metody mogą także być wykorzystane dla uzasadnienia wymagań bezpieczeństwa elementów i zespołów technicznych, konstrukcji i przyrządów kontrolnych taboru kolejowego w warunkach ekstremalnych.

Bibliografia

1. Arefyev I. Forecasting and control object of management in the environment of system pert (the method of integrated characteristics). Maritime University (Biblioteka cyfrowa), Szczecin. 2012. 293p.
2. Arefyev I. Klavdiev. Techniques for the assessment of ships in shallow areas. Z.N. AM., Szczecin. 2012. s. 19-24.
3. Arefyev I, Klavdiev A. Prognozowanie informacyjne stanu systemu transportowego. Z.N. Politechniki Śląskiej, N 75.Transport. Gliwice. 2012. s. 5-8
4. Арефьев И.Б., Клавдиев А.А. Оценка логистических показателей в условиях ограниченной информации. Z.N. «Программные системы и продукты», №3, Тверь. 2009. с. 24- 26.
5. Джонсон Н., Лион Ф. Статистика и планирование эксперимента в технике и науке. Методы обработки данных. «Мир», Москва. 1980. 610 с.
6. Ивченко Б.П., Мартыщенко Л.А., Табухов М.Е. Управление в экономических и социальных системах. Системный анализ. Принятие решений в условиях неопределенности. «Нордмед-Издат», Санкт - Петербург. 2001. 248с.
7. Клавдиев А.А., Пасевич В. Адаптивные технологии информационно-вероятностного анализа транспортных систем. СЗТУ, Санкт – Петербург. 2009. 305с.
8. www.techcrash.ru/industrialnye/inge

PREDICTION OF TRANSPORTATION SAFETY OF METHODS EXTREME STATISTICS

Summary: In recent years in the field of transport appeared urgent task of bringing to a minimum of accidents and disasters that are caused by failure of functional elements. Currently, not yet formulated the theory developed solutions such tasks. The authors propose a way to solve the task based on extreme statistics methodology and principles of information Janes. Presented in the article, and the calculation example shows that, in an extreme selection including a statistical level, when the volume reaches its size. The method allows to implement the decision by some observations about the nature of the distribution is not known anything but the expected value of a random size.

Keywords: security, transport, statistics