Biuletyn WAT
Vol. LX, Nr1, 2011

Identyfikacja potencjału operacyjnego operatora środka transportu

JANUSZ SZPYTKO[3], JERZY JAŹWIŃSKI[1], DANUTA A. WOŹNIAK[2], SŁAWOMIR KLIMASZEWSKI[1]

[1]Instytut Techniczny Wojsk Lotniczych, ul. Księcia Bolesława 6, 01-494 Warszawa,
[2]Urząd Marszałkowski Województwa Małopolskiego, Kraków,
[3]Akademia Górniczo-Hutnicza, 30-059 Kraków, Al. Mickiewicza 30

Streszczenie. Pod pojęciem identyfikacji stanu zdatności operatora środków transportu rozumiemy relacje $C \subset W$ (zbiór cech C zawiera się w zbiorze wymagań W). Cechy mogą być zdeterminowane — c, zmienne losowe — C, procesy losowe — $C(t)$. Wymagania mogą być zdeterminowane — w, zmienne losowe W, procesy losowe $W(t)$. Zbiór cech i zbiór wymagań wyznaczają dziewięć różnych relacji. W artykule omówiono możliwe relacje, podając ich modele matematyczne oraz interpretację.
Słowa kluczowe: identyfikacja stanu operatora, cecha, wymaganie, zmienna losowa, proces losowy

1. Potencjał Operatora

Łączny potencjał operatora środków transportu można wyrazić sumą jego potencjałów: PC1 (decyzyjnego), PC2 (nabytego), PC3 (własnego): PC = PC1 + PC2 + PC3. Potencjał jest właściwością operatora charakteryzującą jego zdolność do zachowania wymaganej zdatności użytkowej (podejmowania decyzji) i obsługowej (odtwarzania lub uzupełniania) w danej chwili lub w określonym czasie [Szpytko, 2004].

Potencjał decyzyjny PC1 operatora (świadomość jakościowa i ilościowa otoczenia operatora i wyrażana jego czujnością) uwzględnia jego świat zewnętrzny i wykorzystuje informacje/dane i wiedzę pozyskane wcześniej lub aktualnie z otoczenia. Potencjał decyzyjny PC1 jest formułowany w rezultacie zadziałania instrumentów pomiarowych operatora (narządy zmysłu/organy identyfikacji bodźców zewnętrznych, również z wykorzystaniem metrologicznych środków technicznych).

Potencjał nabyty PC2 operatora (świadomość operatora wykorzystująca informacje/dane i wiedzę pozyskane wcześniej z jego otoczenia w rezultacie zadziałania jego instrumentów pozyskiwania informacji i elementów ludzkiej pamięci) pochodzi z jego świata wewnętrznego obejmującego posiadaną przez niego wiedzę i doświadczenia (związki przyczynowo-skutkowe), które są warunkowane aktualnym stanem psychofizycznym człowieka i pozwalają podejmować określone decyzje.

Potencjał własny operatora PC3 (samoświadomość — zdawanie sobie sprawy z aktualnie doświadczanych doznań, emocji, potrzeb, myśli, swoich możliwości oraz świadomość własnych myśli i fantazji) jest zbiorem jego własnych relacji przyczynowo-skutkowych (procedur) wynikających z właściwości osobniczych.

Świadomość jest stanem psychicznym, w którym jednostka (człowiek) zdaje sobie sprawę ze zjawisk wewnętrznych, takich jak własne procesy myślowe (rozumowanie polegające na skojarzeniach i wnioskowaniu operującym elementami ludzkiej pamięci jak symbole/pojęcia/frazy, obrazy, dźwięki) oraz zjawisk zachodzących w środowisku zewnętrznym i jest w stanie reagować na nie somatycznie (sprzężenie zwrotne ze światem zewnętrznym) lub autonomicznie (reakcje niezależne od woli operatora).

2. Problemy identyfikacji

Operatorzy środków transportu muszą podejmować wiele różnorodnych decyzji. Dotyczą one bezpośrednio osoby, która je podejmuje, a odnoszą się do relacji z innymi ludźmi, ze środowiskiem naturalnym, techniką (środkami transportu), tworząc układy mogące znajdować się w wielu różnych stanach. Podejmowane decyzje mają na celu zachowanie określonych stanów układu (operatorów lub zestawów typu człowiek–maszyna) lub wprowadzenie zmian tych stanów. Aby dokonać zmiany stanu układu, należy go w pierwszej kolejności zidentyfikować.

Każdy stan układu wyznaczony jest przez zbiór wymagań

$$W_i\left[w_{i1}, w_{i2}, \ldots w_{ij}, \ldots, w_{im_i}\right]$$

odniesiony do zbioru cech układu $C_i\left[C_{i1}, \ldots, C_{ik}, \ldots, C_{in_i}\right]$. Układ znajduje się w i-tym stanie, jeżeli zbiór cech C_i spełnia wymagania W_i, to znaczy $C_i \subset W_i;\ i = 1, 2, \ldots, N$. W praktyce, człowiek podejmujący decyzje nie zna pełnego zbioru cech układu oraz wymagań wyznaczających stany układu.

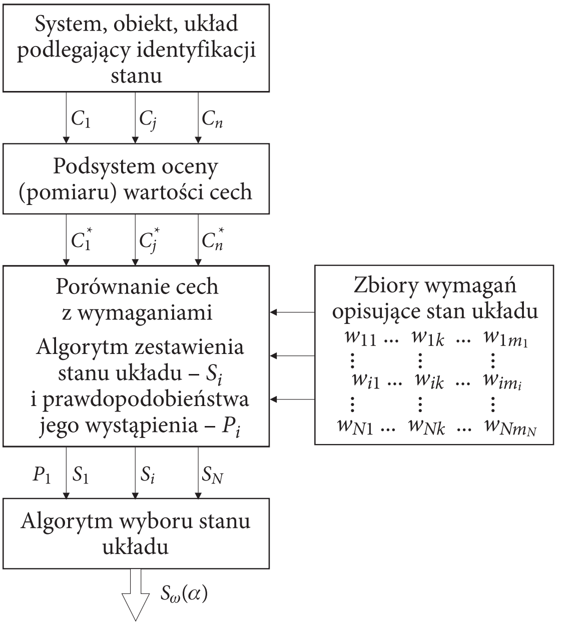
Po dokładnym przyjrzeniu się opisanym przypadkom, można zaobserwować pewną prawidłowość:

— do podjęcia decyzji o zachowaniu lub zmianie układu niezbędna jest identyfikacja tego stanu (umownie można powiedzieć — pomiar stanu),

— obserwuje się różnorodne ilościowe i jakościowe cechy układu. Wartości niektórych cech zobrazowane są przy pomocy przyrządów pomiarowych lub instrumentów wbudowanych (własnych) w organizm człowieka. Niektóre cechy są obserwowane bezpośrednio lub pośrednio przez nasze zmysły,
— odebraną informację porównuje się z różnorodnymi zestawami wymagań opisujących różne stany układu,
— w wyniku dokonanych porównań wyznacza się stan układu,
— zarejestrowana informacja o cechach oraz wymaganiach jest niepełna do określenia stanu układu. Stan układu zostaje wyznaczony z określonym błędem.

Przedstawiony sposób postępowania wskazuje, że do identyfikacji stanu układu niezbędny jest specyficzny system pomiarowy umownie nazwany metasystemem pomiarowym (przetwarzania informacji) człowieka operatora środka transportu.

Metasystem pomiarowy składa się z podsystemu oceny ilościowych i jakościowych cech układu, banku zestawu wymagań opisujących stan układu, zestawu algorytmów porównania cech z wymaganiami, zestawu algorytmów podejmowania decyzji przy niepełnej informacji o stanie układu z określonym błędem. Przykładem metasytemu pomiarowego jest operator technicznego środka transportu (samolotu, samochodu) wyposażony w zmysły oraz określone mierniki pokładowe. Model metasystemu pomiarowego operatora (MSP) dokonującego identyfikacji stanu układu przedstawiono na rysunku 1.



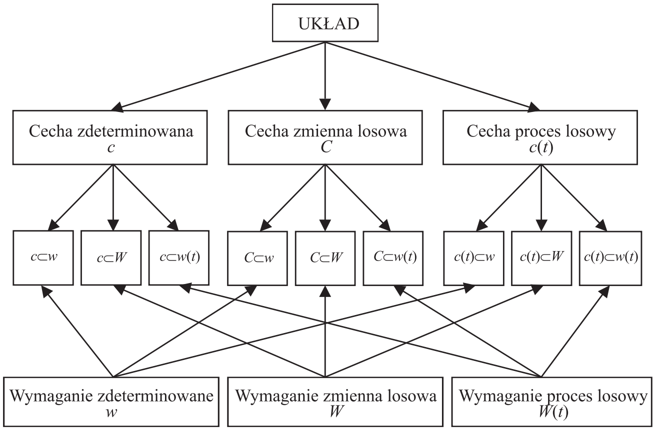
Rys. 1. Przykładowy metasystem pomiarowy układu człowiek–maszyna

Istotnym problemem MSP jest zbiór cech ilościowych i jakościowych charakteryzujących układ. Cechom ilościowym mogą być przypisane określone wartości, natomiast cechy jakościowe nie mogą w sposób bezpośredni być opisane ilościowo. Operator z obserwacji technicznego środka transportu odbiera różne sygnały (wibracje, sygnały dźwiękowe, zapachowe, itp.), świadczące o niepożądanych procesach i wymagające określonych interwencji. Są to wartości zdeterminowane, zmienne losowe i procesy losowe. Ogólnie można powiedzieć, że w stanie statycznym układu — cechy charakteryzujące układ mogą być w przybliżeniu traktowane jako wartości zdeterminowane, w stanie dynamicznym układu — cechy te nabierają zazwyczaj charakteru zmiennych losowych lub procesów losowych. Sytuacja się komplikuje, jeżeli rozpatrywany jest układ jako reprezentacja pewnego zbioru układów i mierzone cechy są reprezentacją zbiorowości cech układu. W takim przypadku nabierają one charakteru losowego.

Charakter cechy w wielu przypadkach wyznacza wymagania. Wymagania mogą być zdeterminowane zmiennymi losowymi i procesami losowymi [Jaźwiński et al., 2003]. Na rysunku 2 przedstawiono różne relacje zachodzące pomiędzy cechami i wymaganiami. Każdej rozpatrywanej relacji przynależności $C \subset W$ towarzyszy złożony algorytm jej realizacji. W procesie wykorzystania relacji mogą być popełnione dwa rodzaje błędów:

— błąd pierwszego typu polega na przyjęciu, że pomierzona cecha C^* nie spełnia wymagań $C^* \not\subset W$, gdy w rzeczywistości cecha ta spełnia wymagania $C \subset W$, a miarą błędu pierwszego typu jest prawdopodobieństwo $\alpha = P\left(C^* \not\subset W \middle| C \subset W\right)$,

— błąd drugiego typu polega na przyjęciu, że pomierzona cechy C^* spełnia wymagania $C^* \subset W$, gdy w rzeczywistości nie spełnia ona wymagań $C \not\subset W$; miarą błędu drugiego typu jest prawdopodobieństwo $\beta = P\left(C^* \subset W \middle| C \not\subset W\right)$.



Rys. 2. Relacja przynależności pomiędzy różnymi rodzajami cech i wymagań

Błędom pierwszego i drugiego typu towarzyszą bezbłędności pierwszego i drugiego typu:

— bezbłędność pierwszego typu polegająca na właściwym zakwalifikowaniu pomierzonej cechy C^* spełniającej wymagania: $C^* \subset W$ dana jest wzorem:

$$\overline{\alpha} = 1 - \alpha = P\left(C^* \subset W \middle| C \subset W\right).$$

— bezbłędność drugiego typu polegająca na właściwym zakwalifikowaniu mierzonej cechy C^* niespełniającej wymagań: $C^* \not\subset W$, dane jest wzorem:

$$\overline{\beta} = 1 - \beta = P\left(C^* \not\subset W \middle| C \not\subset W\right).$$

3. Relacje pomiędzy cechami i wymaganiami

3.1. Wymaganie zdeterminowane

Przy wymaganiach zdeterminowanych (***W***) cecha może być również zdeterminowana (*c*) zmienną losową (*C*), procesem losowym [$C(t)$]. Jest to najczęściej spotykany przypadek w praktyce. Jeżeli wartość cechy zawiera się w wartości przedziału, to uznaje się, że układ jest zdatny, względnie obserwowane zjawisko przebiega prawidłowo. W przeciwnym przypadku przyjmuje się, że układ jest niezdatny.

Cecha jest parametrem operacyjnym człowieka wyrażonym ilościowo i może być określana jako: zdeterminowana, zmienna losowa, proces losowy.

Cecha zdeterminowana

Przykładem cechy zdeterminowanej operatora *c* są: masa ciała, wymiary, cechy genetyczne, nabyte właściwości, czas operacji sterowania w określonych warunkach

Cecha zmienna losowa

Cecha jako zmienna losowa *C* to przykładowo: temperatura ciała, intensywność pocenia się człowieka. Rozpatrywany jest element, dla którego związek sygnału wyjściowego *y* i sygnału wejściowego *x* jest określony zależnością ciągłą, najczęściej zależnością liniową:

$$y = cx. \tag{1}$$

Jeżeli na wejściu takiego obiektu podawany jest sygnał o stałej wartości $x = x_1 = \text{const}$, to na wyjściu powinien występować również sygnał o wartości stałej, a mianowicie $y_1 = cx_1 = \text{const}$. Jednakże w wyniku zewnętrznych zmian obiektu wielkość *c* nie jest stała w czasie i może być większa lub mniejsza od ustalonej wartości średniej $\overline{C}$. Sygnał wyjściowy również będzie ulegał zmianom w czasie, wokół pewnej średniej wartości $\overline{y}_1 = \overline{C}x_1$. Jak wykazuje doświadczenie, dla większości obiektów odchylenie wielkości y_1 od wartości średniej $\overline{y}_1$ określa się przez rozkład normalny. Zwykle wymaga się, aby obiekt pracował z określoną dokładnością, to jest aby sygnał wyjściowy obiektu nie miał większych odchyleń od zadanej wartości niedopuszczalnej $\pm \Delta$. Prawdopodobieństwo tego, że wartość sygnału wyjściowego y_1 będzie znajdowała się w granicach dopuszczalnych, jeżeli rozkład wartości sygnału wyjściowego przyjmiemy za normalny, wynosi:

$$R = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{\overline{y}_i - \Delta}^{\overline{y}_i + \Delta} \exp\left[-\frac{\left(y_1 - \overline{y}_1\right)^2}{2\sigma^2} \right] dy, \tag{2}$$

gdzie: σ — odchylenie standardowe wartości y.

Cecha — proces losowy

Cecha jako proces losowy $C(t)$ może wyrażać zużycie i osłabienie właściwości funkcjonalnych zespołów organizmu człowieka, poziomu degradacji organów organizmu.

Przyjmując proces losowy obciążenia zespołów organizmu człowieka jako $C(t)$ oraz przyjmując, że wytrzymałość zespołów organizmu człowieka w (zdrowie) jest stała, można założyć, że warunkiem bezpiecznego podejmowania decyzji przez operatora jest nieprzekroczenie przez proces $U(t) = C(t) - w$ poziomu zerowego. W wielu przypadkach ważny jest czas trwania przekroczenia poziomu zerowego.

Proponuje się przyjąć, że w ogólnym przypadku bezpieczeństwo zespołów (poszczególnych układów) organizmu człowieka, podobnie jak dla konstrukcji urządzeń, można wyznaczyć ze wzoru [Volkov, Wiwkevi, 1975]:

$$R_B\left(t_0\right) = R_B\left(0\right)\left\{1 - \left[1 - P_p\left(t_0\right)\right] P\left(\tau > \tau_{kr}\right)\right\}, \tag{3}$$

gdzie: $R_B(t)$ — prawdopodobieństwo utraty zdrowia (zniszczenia) organizmu do chwili t;
$R_B(0)$ — prawdopodobieństwo nie zniszczenia organizmu w chwili $t = 0$;
P_p — prawdopodobieństwo nie wystąpienia poziomu zerowego w czasie t;
$P(\tau > \tau_{kr})$ — prawdopodobieństwo przekroczenia poziomu czasu krytycznego;
τ_{kr} — czas trwania przekroczenia poziomu czasu krytycznego, po którym występuje zniszczenie organizmu (utrata zdrowia, degradacja wymaganego potencjału operacyjnego operatora).

Do wyznaczenia bezpieczeństwa organizmu niezbędna jest znajomość wartości wchodzących do wzoru (3). Do wyznaczenia prawdopodobieństwa $P(\tau > \tau_{kr})$ niezbędna jest znajomość gęstości prawdopodobieństwa $f(\tau)$. W konstrukcjach urządzeń wykazuje się, że gęstość prawdopodobieństwa czasu przekroczenia poziomu zerowego jest w przybliżeniu opisana rozkładem Rayleigha o postaci [Kapur i Lanbercov, 1980]:

$$f(\tau) = \frac{\tau}{\sigma^2} \exp\left[-\frac{\tau^2}{2\sigma^2}\right], \tag{4}$$

$$P_\tau = P(\tau > \tau_{kr}) = \int_{\tau_{kr}}^{\infty} f(\tau) d\tau = \exp\left[-\frac{\pi \tau_{kr}^2}{4\overline{\tau}^2}\right], \tag{5}$$

gdzie: $\overline{\tau} = \sigma\sqrt{\frac{\pi}{12}}$.

Jeżeli znana jest średnia liczba przekroczeń poziomu zerowego $\overline{n_0}(t_0)$, to prawdopodobieństwo $P_p(t)$ dane jest wzorem:

$$P_p(t_0) = \exp\left[-\int_0^{t_0} \overline{n}_0(\tau) d\tau\right]. \tag{6}$$

W ogólnym przypadku wyznaczenie prawdopodobieństw P_τ, P_p nastręcza wielu trudności.

W praktyce spotykamy się z procesami deterministycznymi. Są to funkcje o losowych argumentach zależnych od czasu. Procesy te są niestacjonarne. Rozważmy deterministyczny proces liniowy o postaci [Prohorenko i Smirnov, 1976]:

$$\omega(t) = At + B, \tag{7}$$

gdzie: A i B to niezależne zmienne losowe.

W przypadku gdy parametr $A = a$ jest zdeterminowany, a parametr B jest zmienną losową, wówczas proces ma przebieg równomierny. Gdy parametr A jest losowy, a parametr $B = b$ jest zdeterminowany, to proces ma przebieg wachlarzykowaty. Jeżeli przyjmie się, że parametry A i B mają rozkłady normalne o parametrach $N(m_a, \sigma_a)$, $N(m_b, \sigma_b)$, to proces zużycia również ma rozkład normalny o parametrach $N(m_\omega, \sigma_\omega)$, gdzie:

$$m_\omega = m_a t + m_b, \tag{8}$$

$$\sigma_\omega^2 = t^2 \sigma_a^2 + \sigma_b^2. \tag{9}$$

Jeżeli h jest dopuszczalnym poziomem zużycia, to:

$$R(t) = P(T > t) = P(AT + B \le h). \tag{10}$$

Z normalności procesu zużycia dla konstrukcji urządzeń $\omega(t)$ wynika [Gerbach i Kordoński, 1968]:

$$P(T \le t) = 1 - R(t) = \varphi\left[\frac{t - \frac{h - m_b}{m_a}}{\sqrt{\frac{\sigma_a^2\, t^2 + \sigma_b^2}{m_a^2}}}\right]. \tag{11}$$

Podstawiając:

$$d = \frac{\sigma_a^2}{m_a^2};\, e = \frac{\sigma_b^2}{m_a^2};\, c = \frac{h - m_b}{m_a}, \tag{12}$$

otrzymuje się:

$$F(t) = \varphi\left[\frac{t - c}{\sqrt{d\,t^2 + e}}\right]. \tag{13}$$

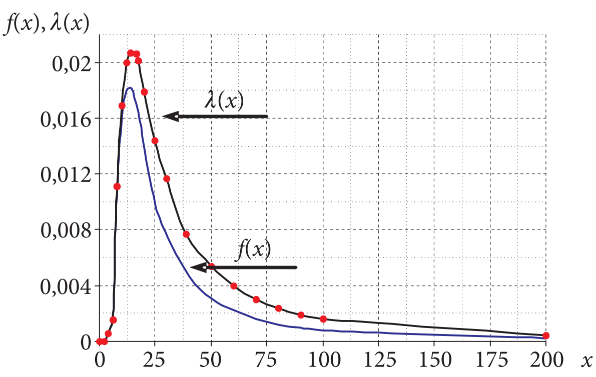
Funkcja gęstości prawdopodobieństwa dana jest wzorem:

$$f(t) = \frac{(e + c\,d\,t)}{\left[e + d\,t^2\right]^{3/2}\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(t - c)^2}{2\left(d\,t^2 + e\right)}\right], \tag{14}$$

a intensywność uszkodzeń:

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{1 - F(t)}. \tag{15}$$

Zobrazowanie funkcji gęstości prawdopodobieństwa $f(t)$ i funkcji intensywności uszkodzeń $\lambda(t)$ przedstawiono na rysunku 3.



Rys. 3. Wykres funkcji gęstości prawdopodobieństwa $f(x)$ i funkcji intensywności zdarzeń $\lambda(x)$ dla liniowego procesu deterministycznego o normalnym rozkładzie parametrów $N(m_a = 0{,}01; \sigma_a = 0{,}05)$ oraz $N(m_b = 1; \sigma_b = 0{,}2)$ i wartości granicznej $h = 2$

3.2. Wymaganie zmienna losowa

Wymagania *W* adresowane do operatora określane są jako dopuszczalny zakres zmian wyróżnionej jego cechy. Wymagania mogą mieć charakter typu: zdeterminowanego, zmienna losowa, proces losowy.

Cecha zdeterminowana

Wymagania zdeterminowane w określają przykładowo dopuszczalne zakresy zmian cech, czas trwania obciążenia danym bodźcem zewnętrznym, czas trwania obciążenia niedopuszczalnego, wytrzymałość organów człowieka.

Rozważmy parę przykładów porównywania cechy *c* z wymaganiami *W*. Miarą realizacji pomiędzy cechą i wymaganiem jest prawdopodobieństwo $P(c < W)$, że wytrzymałość jest większa od obciążenia. Rozważmy parę przykładów:

1. Wytrzymałość ma rozkład Weibulle'a o postaci:

$$F(w) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{w-\delta}{\Theta-\delta}\right)^{\alpha}\right]. \tag{16}$$

Prawdopodobieństwo $F(w) = P(W \le c)$ dla $\alpha = 4$, $\Theta = 2000$, $\delta = 1000$ i $c = 1500$ wynosi: $F(1500) = 0{,}061$ oraz dla $F(1100) = 0{,}000099$ lub że $R(w) = 1 - F(w) = P(W > c) = 0{,}9999$.

2. Wytrzymałość ma rozkład gamma o postaci:

$$F(w) = 1 - \sum_{k=0}^{m-1} \frac{(\lambda w)^k \exp(-\lambda w)}{k!}. \tag{17}$$

Dla parametrów $m = 3$, $\lambda = 0{,}005$, $c = 24$, $R(w) = P(W > c) = 0{,}9927$ wytrzymałość konstrukcji jest zmienną losową na skutek niejednorodności technologii wytwarzania.

W innym obszarze, na przykład sterowania obiektem, cechą jest czas wykonania operacji sterującej, w określonych warunkach może być przyjęty jako wartość zdeterminowana. Jako wymaganie może być przyjęty czas dyspozycyjny, w którym działanie sterujące winno być wykonane. Aby zadanie było wykonane, działanie sterujące winno być krótsze od czasu dyspozycyjnego. Przykładowo czas odpalenia rakiety ziemia–powietrze, dla zniszczenia celu powietrznego, można przyjąć za zdeterminowany (cecha układu). Przebywanie celu w strefie rażenia wyznacza czas dyspozycyjny (wymaganie). Relacje pomiędzy tymi wielkościami decydują o wykonaniu zadania.

Cecha zmienna losowa

Przykładem wymagań zmienną losową W jest czas dysponowany realizacji działania w określonych warunkach. Relacją pomiędzy cechą C i wymaganiem W jest prawdopodobieństwo $P(W \leq C)$ dane wzorem [Kapur i Lanbercov, 1980]:

$$F = 1 - R = \int_{-\infty}^{\infty} F_w(s) f_c(s) ds = P(W \leq C), \tag{18}$$

gdzie: F — prawdopodobieństwo, że cecha C jest większa od wymaganej.

Jeżeli cecha C jest obciążeniem bodźcami zewnętrznymi, a wymaganie W — wytrzymałością (odpornością organizmu na degradację), to F jest miarą zawodności organizmu (zdrowia). Jeżeli cecha C ma sens pracy obiektu zabezpieczanego do zapotrzebowania na jego działanie, a wymaganie jest czasem pracy (podejmowania decyzji i ich realizacji/zdolności) do uszkodzenia obiektu zabezpieczającego, to prawdopodobieństwo F jest miarą niedyspozycyjności obiektu zabezpieczającego (utraty funkcji obronnych).

Jeżeli cecha C oznacza czas wykonania operacji sterującej, a wymaganie W oznacza czas dyspozycyjny, to prawdopodobieństwo F oznacza nieskuteczność działania. Odpowiednio R oznacza bezpieczeństwo organizmu/konstrukcji, dyspozycyjność obiektu zabezpieczającego, efektywność działania. Rozważmy parę przykładów wyznaczania prawdopodobieństwa R dla różnych rozkładów $f_c(c)$ i $f_w(w)$:

1. Cecha i wymaganie mają rozkłady normalne:

$$f_c(c) = \frac{1}{\sigma_c \sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{1}{2} \left(\frac{c - \mu_c}{\sigma_c} \right)^2 \right], \tag{19}$$

$$f_w(w) = \frac{1}{\sigma_w \sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{1}{2} \left(\frac{w - \mu_w}{\sigma_w} \right)^2 \right], \tag{20}$$

gdzie: μ_c i σ_c — wartość oczekiwana i odchylenie standardowe cechy C;
μ_w i σ_w — wartość oczekiwana i odchylenie standardowe wymagań.

Wprowadźmy zmienną losową $Y = W - C$. Wiadomo jest, że zmienna losowa Y posiada rozkład normalny z wartością oczekiwaną:

$$\varpi_y = \mu_w - \mu_c \tag{21}$$

i odchyleniem standardowym:

$$\sigma_y = \sqrt{\sigma_w^2 + \sigma_c^2}. \tag{22}$$

Wówczas prawdopodobieństwo R dane jest wzorem:

$$R = P(Y > 0) = \int_0^\infty \frac{1}{\sigma_y \sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{1}{2} \left(\frac{y - \mu_y}{\sigma_y} \right)^2 \right]. \tag{23}$$

Powyższą zależność można napisać w postaci:

$$R = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{\frac{\mu_w - \mu_c}{\sqrt{\sigma_w^2 + \sigma_c^2}}}^{\infty} \exp\left[-\frac{z^2}{2} \right] dz. \tag{24}$$

Dla wyznaczenia wartości R można wykorzystać dane z istniejących tablic rozkładu normalnego.

2. Jeżeli cecha i wymaganie mają rozkłady wykładnicze o parametrach λ_c i λ_w, to:

$$R = \frac{\lambda_c}{\lambda_w + \lambda_c}. \tag{25}$$

3. Jeżeli wymaganie ma rozkład normalny $N(\mu_w, \sigma_w)$, a cecha ma rozkład wykładniczy o parametrze λ_c, to:

$$R = 1 - \exp\left(\mu_w \lambda_c + \frac{1}{2} \lambda_c^2 \, \sigma_w^2 \right). \tag{26}$$

W ogólnym przypadku prawdopodobieństwo R można wyznaczyć graficznie. Wprowadźmy oznaczenia:

$$G = \int_w^\infty f_w(w) dw = 1 - F_w(w), \tag{27}$$

$$H = \int_0^c f_c(c) dc = F_c(c). \tag{28}$$

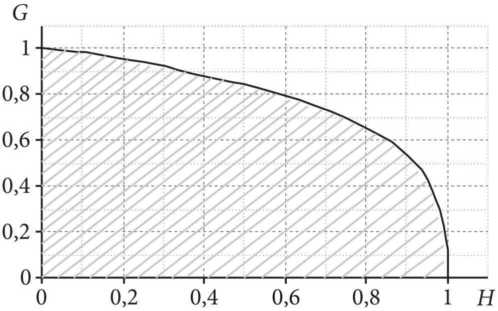
Wówczas:

$$R = \int_0^1 G dH \tag{29}$$

Powyższy wzór (29) wskazuje, że prawdopodobieństwo R równe jest polu pod krzywą G i H. Relację zilustrowano na rysunku 4.

Cecha proces losowy

W praktyce często spotykamy się z sytuacją, kiedy cecha $C(t)$ jest procesem losowym, a wymaganie jest zmienną losową W. Proces losowy $W(t)$ określa przykładowo odporność organizmu zależną od poziomu oddziaływań czynników zewnętrznych oraz poziomu degradacji organów organizmu. Czas wykonywania działania sterującego w wielu przypadkach może również być traktowany jako



Rys. 4. Wykres funkcji $G = f(H)$

proces losowy. Wynika to między innymi ze stanu psychicznego operatora, jego podatności na stres informacyjny, czasowy oraz zmęczenia.

Miarą relacji „cecha $C(t)$ — wymaganie W" jest prawdopodobieństwo:

$$R = P\left(W - C(t) > 0 \mid t \leq T\right). \tag{30}$$

Przyjmując, że wymaganie i cecha są nieskorelowane, znajdujemy [Volkov i Wiwkevi, 1975]:

$$R \approx \exp\left\{-\frac{T}{2\pi}\sqrt{-\left[\frac{d^2\rho_c(\tau)}{d\tau^2}\right]_{\tau=0}}\exp\left[-\frac{(m_w - m_c)^2}{2\left(\sigma_w^2 + \sigma_c^2\right)}\right]\right\}, \tag{31}$$

gdzie: $\rho_c(\tau)$ — unormowana funkcja korelacji cechy $C(t)$;
m_w, m_c — wartości oczekiwane wymagań W i cechy $C(t)$;
σ_w^2, σ_c^2 — wariancja wymagań W i cechy $C(t)$.

Wyrażenie powyższe daje dolne oszacowanie prawdopodobieństwa R. Bardziej dokładne oszacowanie uzyskuje się ze wzoru:

$$R = \int_0^\infty f_w(x)\exp\left[-\overline{n}_w T\right]dx, \tag{32}$$

gdzie: $f_w(x)$ — gęstość prawdopodobieństwa zmiennej losowej W;
$\overline{n}_w$ — średnia liczba przekroczeń przez obciążenie poziomu W.

3.3. Wymaganie jako proces losowy

Wymaganie jako proces losowy występuje w wielu różnych sytuacjach. W przypadku gdy jako wymaganie przyjmuje się wytrzymałość organizmu (potencjał operacyjny), to na skutek zachodzących w organizmie procesów starzenia i zużycia, jego wytrzymałość (zdrowie) jest zależna od czasu i powinna być traktowana jako proces losowy. W czasie realizacji zadania transportowego wymaganie odnośnie takiej cechy jak prędkość podjęcia decyzji (skuteczność) jest procesem losowym.

Cecha zdeterminowana

1. Cecha to stałe obciążenie organizmu czynnikami zewnętrznymi. Potencjał operatora/wytrzymałość zależy przykładowo od temperatury lub stopnia zużycia (starzenia się poszczególnych) organów człowieka. Wytrzymałość jest procesem losowym.
2. Profesjonalne działanie wykonywane przez operatora w czasie sterowania obiektem można przyjąć jako zdeterminowane. Czas dyspozycyjny jako wymaganie zależy od czasu (pora dnia, warunki klimatyczne, itp.) i jest procesem losowym.

Rozważmy problem identyfikacji takiego układu. Obiekt spełnia wymagania, jeżeli cecha nie przekroczy procesu opisującego wymagania. Obiekt nie spełnia wymagań, jeśli cecha c przekroczy poziom procesu opisującego wymagania i przebywa w tym stanie przez czas τ.

Średnia liczba przekroczeń wymaganego poziomu przez cechę $\overline{n}$ i czas przebywania w stanie przekroczenia τ dane są wzorami [Volkov i Wiwkevi, 1975]:

$$\overline{n} = A\exp\left[-\left(c-m_w\right)^2 \mid K_w\left(0\right)\right], \tag{33}$$

$$\tau = \frac{1}{A}\left[1-\varphi\left(\frac{c-m_w}{\sqrt{K_w\left(0\right)}}\right)\right]\exp\left[\frac{\left(c-m_w\right)^2}{2K_w\left(0\right)}\right], \tag{34}$$

$$A = \frac{1}{2\pi}\sqrt{-\left[\frac{1}{K_w\left(\tau\right)}\cdot\frac{dK_w\left(\tau\right)}{d\tau^2}\right]_{\tau=0}}. \tag{35}$$

Parametr A można wyrazić przez gęstość spektralną $S_w(\omega)$:

$$K_w\left(\tau\right) = \int_0^\infty S_w\left(\omega\right)\cos\omega\tau\, d\omega, \tag{36}$$

gdzie: ω — częstość kątowa.

Przy założeniu, że przekroczenie przez cechę poziomu wymagań jest zdarzeniem mało prawdopodobnym, to prawdopodobieństwo przekroczenia przez cechę poziomu wymagań dane jest wzorem:

$$R = \exp\left\{AT\exp\left[-\left(c-m_w\right)^2 \mid 2K_w\left(0\right)\right]\right\} \tag{37}$$

lub:

$$R \approx e^{-\overline{n}T} \;, \tag{38}$$

gdzie: $\overline{n}$ — średnia liczba przekroczeń poziomu cechy C;
$K_w(\tau)$ — funkcja korelacyjna wymagań;
$S_w(\omega)$ — gęstość spektralna;
m_w — wartość oczekiwana wymagań;
C — wartość cechy.

Cecha zmienna losowa

Sytuacja taka występuje, gdy przykładowo obciążenie organizmu operatora jest zmienną losową, a wymaganie jest procesem losowym. Przyjmując funkcje gęstości cechy $f_c(x)$:

$$n_{sr} = \int_0^\infty f_c(c)\overline{n}(c)dc, \tag{39}$$

$$\tau_{sr} = \int_0^\infty f_c(c)\tau(c)dc, \tag{40}$$

$$R_{sr} = \int f_c(c)R(c)dc, \tag{41}$$

gdzie: n_{sr}, τ_{sr}, R_{sr} — odpowiednio: $\overline{n}(c)$ — dane wzorem (33), $\tau(c)$ — dane wzorem (34) i $R(c)$ — dane wzorem (37) dla średniej wartości cechy C.

Cecha proces losowy

Rozważmy przypadek ogólny, kiedy cecha i wymaganie są procesami losowymi. Rozważmy proces losowy:

$$U(t) = C(t) - W(t). \tag{42}$$

Rozważa się krótkotrwałe przejścia przez zero funkcji $U(t)$. Krótkotrwałe przekroczenie nie zawsze powoduje uszkodzenie systemu. Dlatego niezbędne jest uwzględnienie czasu trwania przekroczenia. Zakłada się, że zniszczenie systemu następuje, gdy $\tau > \tau_{kr}$ (τ_{kr} — krytyczne). Dla wyznaczenia prawdopodobieństwa $P(\tau > \tau_{kr})$ niezbędna jest znajomość funkcji gęstości prawdopodobieństwa $f(t)$. Wykazuje się, że gęstość prawdopodobieństwa czasu trwania przekroczenia w przybliżeniu opisuje się rozkładem Rayleigha w postaci:

$$f(\tau) = \frac{\tau}{\sigma^2}\exp\left(-\frac{\tau^2}{2\pi^2}\right). \tag{43}$$

Parametr wyznacza się z zależności:

$$E[\tau] = \overline{\tau} = \sqrt{\frac{\pi}{12}}\ \sigma\,. \tag{44}$$

Wartość $\overline{\tau}$ wyznacza się z doświadczenia. Przy ustalonym τ_{kr} prawdopodobieństwo P_τ dane jest wzorem:

$$P_\tau = P(\tau > \tau_{kr}) = \int_{\tau_{kr}}^{\infty} f(\tau)d\tau = \exp\left[-\frac{\pi\,\tau_{kr}^2}{4T^2}\right]. \tag{45}$$

Ogólnie prawdopodobieństwo niezniszczenia obiektu w czasie T dane jest wzorem [Volkov i Wiwkevi, 1975]:

$$P(T) = P(0)\left\{1 - \left[1 - P_1(\tau)\right]P_\tau\right\}, \tag{46}$$

gdzie:

$$P_1(T) = P\left\{U(t) < 0 \,\middle|\, t \le T\right\}. \tag{47}$$

Przy stacjonarnym procesie $U(t)$ prawdopodobieństwo $P_1(t)$ dane jest wzorem:

$$P_1 \approx \exp\left\{-\frac{T}{2\pi}\sqrt{-\left(\frac{d^2\rho_U^{(\tau)}}{d\tau^2}\right)}\,\Bigg|_{\tau=0} \exp\left[-\frac{\sigma_U^2}{2\sigma_U^2}\right]\right\}, \tag{48}$$

gdzie: σ_U^2 i $\rho_U^{(\tau)}$ — odpowiednio wariancja i unormowana funkcja korelacji procesu losowego $U(t)$, przy czym:

$$\sigma_U^2 = \sigma_C^2 + \sigma_W^2 - 2\sigma_C\,\sigma_W\,\sigma_{UC}, \tag{49}$$

$$\rho_W(\tau) = \frac{1}{\sigma_W^2}\left[\,\sigma_C^2\,\rho_C^{(\tau)} + \sigma_W^2\,\rho_W - 2\sigma_C\,\sigma_W\rho_{CW}^{(\tau)}\,\right], \tag{50}$$

gdzie: $\sigma_C^2\ i\ \sigma_W^2$ — wariancja cechy C i wymagań W;
$\rho_W^{(\tau)}$ i $\rho_{CW}^{(\tau)}$ — unormowana autokorelacja cechy C i wymagań W i unormowana funkcja korelacyjna procesu $C(t)$ i wymagań $W(t)$.

4. Wnioski

W procesie identyfikacji potencjału operacyjnego operatora środków transportu istotną rolę odgrywa metasystem pomiarowy.

Metasystem pomiarowy występuje wówczas, gdy nie dysponujemy pełną informacją o zestawie cech, a wiele cech jest oszacowywanych przy pomocy zmysłów operatora. Dokonana identyfikacja jest przybliżona, a częste zagrożenia bezpieczeństwa w transporcie są skutkiem niedokładnej identyfikacji. Problem metasystemu pomiarowego operatora wymaga dalszych badań.

Praca finansowana ze środków budżetowych na naukę jako projekt badawczy w latach 2008-2011.

Artykuł wpłynął do redakcji 14.12.2009 r. Zweryfikowaną wersję po recenzji otrzymano w grudniu 2009 r.

LITERATURA

[1] I. B. Gerbach, C. B. Kordoński, *Modele niezawodności obiektów technicznych*, WNT, Warszawa, 1968.

[2] J. Jaźwiński i in., *Identyfikacja stanu transportowego w procesie realizacji zadania transportowego*, Sprawozdanie nr 1389/50, ITWL, Warszawa, 2003.

[3] L. Kapur, Lanbercov, *Nadexnost i proektirovanie system*, Mir, Moskva, 1980.

[4] V. A. Prohorenko, A. H. Smirnov, *Prognozirovanie kaestva sistem*, Nauka i Technika, Minsk, 1976.

[5] J. Szpytko, *Kształtowanie procesu eksploatacji środków transportu bliskiego*, BPE, ITE, Kraków–Radom, 2004.

[6] L. I. Volkov, A. M. Wiwkevi, *Nadexnost letatelnyh aparatov*, Vyswa/Wkola, 1975.

J. SZPYTKO, J. JAŹWIŃSKI, D. A. WOŹNIAK, S. KLIMASZEWSKI

Transport devices' operator operation potential status identification

Abstract. Under the notion of identification of the ability state of the operator type transportation system we understand the relations $C \subset W$ (the set of characteristics C is included in the set of requirements W). The characteristics can be: determined — c, random variables — C, random processes — $C(t)$. The operation requirements of the man-device set can be: determined — w, random variables W, random processes $W(t)$. The set of characteristics and the set of requirements determine nine different relations. All the relations have been considered in the paper, as well as their mathematical models and interpretation have been given.

Keywords: identification of the operator state, characteristic, requirements, random variable, random process