6

NIEZAWODNOŚĆ CZŁOWIEKA I NIEZAWODNOŚĆ TECHNICZNA W PROCESIE PRACY UKŁADU CZŁOWIEK-MASZYNA

6.1 WPROWADZENIE

Człowiek jako element układu człowiek-obiekt techniczny jest w tym układzie najbardziej złożonym ogniwem. Opis takiego układu w celu określenia niezawodności jest poprzez język reguł i wzorów matematycznych trudny. Badania jakie prowadzono nad niezawodnością człowieka najczęściej wykorzystują teorie psychologiczne o mniejszym stopniu ogólności, odnosząc się do zachowań, które kwalifikują się jako błędy, potknięcia i uchybienia. Takimi specyficznymi teoriami są: teoria skłonności do wypadków oraz teoria błędów. Podstawą obu tych teorii jest statystyczna analiza zdarzeń, a podstawowym pojęciem tej analizy jest prawdopodobieństwo wystąpienia niepożądanych zdarzeń (urazów – w przypadku skłonności do wypadków oraz błędów – w przypadku teorii błędów). Psychologiczna teoria niezawodności wywodzi się wprost z tych dwu nurtów badań. Wcześniejszego, dotyczącego skłonności do wypadków oraz późniejszego, dotyczącego analizy błędów i ich przyczyn jako funkcji złej konstrukcji maszyn i urządzeń. Te dwa odmienne nurty badań, w których inaczej są traktowane przyczyny niepożądanych zdarzeń, zostały połączone w momencie, gdy uznano, że żaden z tych nurtów nie prowadzi do definitywnych rozstrzygnięć. Wówczas przedmiotem analizy postanowiono uczynić układ człowiek-obiekt techniczny jako całość. Uznano, że błędy człowieka i maszyny wymagają wspólnej płaszczyzny analizy. W tym właśnie momencie problematyka błędów (lub skutków i przyczyn) przeobraziła się w problematykę niezawodności. Twórcy złożonych układów sterowania oraz psychologowie uświadomili sobie, że obliczając niezawodność układu technicznego nie można pomijać niezawodności człowieka, tzn. właściwości jego zachowania się, jego możliwości i ograniczenia, cech, które stawiają go znacznie wyżej od maszyny i cech, pod względem których nie dorównuje on maszynie. Problematyka niezawodności człowieka stała się integralną częścią ogólnej teorii niezawodności systemów [10].

6.2 POJĘCIE NIEZAWODNOŚCI

Teoria niezawodności jest dyscypliną, której język oparty jest na dwóch dziedzinach matematyki: teorii prawdopodobieństwa i statystyce matematycznej. Wspólną cechą niezawodności człowieka i niezawodności innych obiektów jest

konieczność określenia pewnych wymagań (oczekiwań). Istotną różnicą między pojęciem niezawodności człowieka i niezawodności innych obiektów jest interakcyjność między nadawcą i odbiorcą wymagań, tj. możliwość wymiany informacji zarówno o stanach samego obiektu (człowieka) jak i stanach otoczenia. Pojęcie niezawodność jest uważane we współczesnej nauce za jedno z ważniejszych ze względu na jego własności integrujące, które pozwalają na dokonanie syntezy wiedzy dotyczącej różnych obiektów, zarówno technicznych jak i biologicznych. Pozwala dokonać analogii i generować nowe hipotezy badawcze.

Niezawodność obiektu technicznego w sensie normatywnym to własność określona przez prawdopodobieństwo spełnienia wymagań. A. Kiliński [5] postuluje ponadto rozważenie innych cech obiektu, które są bliskie cechy niezawodności. Jest nią trwałość obiektu, czyli jego zdolność do zachowania istotnych własności. Cecha ta jest względna, zależy od warunków korzystania z obiektu, eksploatacji, przechowywania, transportu, konserwacji i napraw. Trwałość może być mierzona długością czasu, w którym obiekt zachowa określone własności w określonych granicach ich zmian, w określonych warunkach istnienia. Tak rozumiana trwałość jest nazywana czasem życia, czasem użytkowania lub czasem służby. Niezawodność w sensie normatywnym może być także rozumiana jako prawdopodobieństwo sukcesu, tj. spełnienia przez obiekt określonego wymagania lub jako prawdopodobieństwo tego, że w okresie $(0, t)$ zmiany określonych własności obiektu nie przekroczą określonych granic, w określonych warunkach istnienia obiektu [6].

Niezawodność w odniesieniu do człowieka określana jest poprzez różne definicje niezawodności. Jest ona rozumiana jako jego zdolność do utrzymania wymaganego poziomu sprawności w pracy w określonym odcinku czasu. Dość często utożsamia się tę cechę z odpornością na zakłócenia występujące w toku pracy. Ostatecznie w wyniku analizy niezawodności układu człowiek-obiekt techniczny, zaproponowano następującą definicję niezawodności człowieka. Niezawodność człowieka jest to zdolność do wykonywania powierzonych zadań z minimalnym ryzykiem błędu, w określonych warunkach i w określonym czasie [1].

6.3 OPIS NIEZAWODNOŚCI CZŁOWIEKA

Niezawodność jest definiowana jako zdolność do spełniania wymagań z minimalnym prawdopodobieństwem popełnienia błędu, w określonych warunkach i w określonym czasie, więc w celu określenia tegoż prawdopodobieństwa niezbędna jest wiedza o błędach (o ich liczbie i rodzajach). O błędach człowieka mówi się w dwu kontekstach: przy poszukiwaniu przyczyn wypadków oraz w kontekście analizy działania człowieka w układach technicznych. Dla ustalenia przyczyn wypadków błędy traktuje się w odmienny sposób niż w analizie błędów w związku z koniecznością prawidłowego podziału funkcji między człowieka i maszynę oraz projektowania systemów technicznych. W pierwszym przypadku jest on analizowany jako przyczyna wypadku, w drugim jako skutek niewłaściwej konstrukcji urządzeń, z którymi współdziała człowiek [4, 10].

Wśród wielu proponowanych przez badaczy klasyfikacji błędów popełnianych przez człowieka, podział na błędy systematyczne i przypadkowe wydaje się najbardziej właściwe. Podejście probabilistyczne (opis prawdopodobieństwa wystąpienia błędu) jest typowe dla badań niezawodności człowieka w związku z analizą ryzyka, a błąd człowieka jest traktowany podobnie jak usterka lub zakłócenie w funkcjonowaniu maszyny. Liczba błędów człowieka i maszyny jest punktem wyjścia obliczenia współczynnika niezawodności całego układu. Dla tzw. błędów operatorskich można wyróżnić rodzaje błędów czynności [11]:

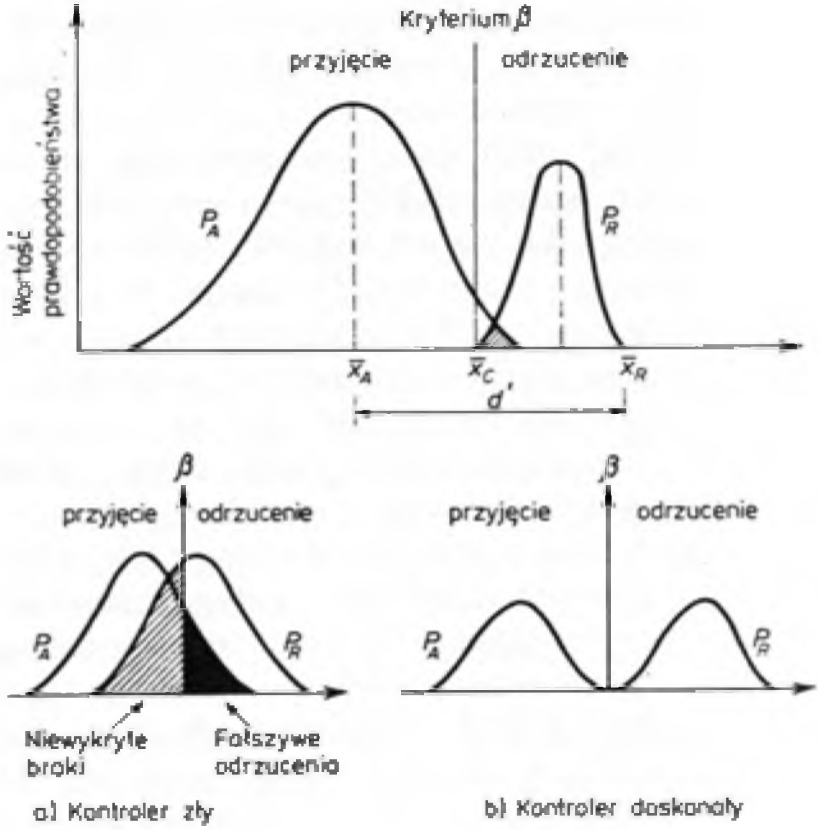
- brak prawidłowej czynności po pojawieniu się sygnału,
- czynność spóźniona,
- czynność wykonana w porę, lecz nie dokończona lub wykonana zamiast innej,
- czynność zbyteczna, wynikająca z chaotycznej aktywności,
- czynność przedwczesna,
- czynność spontaniczna, bez sygnału z zewnątrz, zamiast powstrzymania się od aktywności, przedwczesne włączenie się do działania,
- czynność przeciwstawna do czynności pożądanej lub niedokładna.

Zbieranie danych o błędach jest podstawą budowania miar niezawodności człowieka. Celem tego działania jest przewidywanie niezawodności układu, w którym człowiek pełni określoną rolę. Pośród długiej listy mechanizmów powstawania błędów w pacy człowieka na szczególną uwagę zasługuje mechanizm podejmowania decyzji. Według autorów publikacji [13] twórców teorii detekcji sygnałów, zachowanie się operatora można opisać matematycznie. W teorii tej operator popełnia dwa główne typy błędów:

- niewykrycie (niedostrzeżenie obiektu),
- fałszywy alarm (wykrycie sygnału, który nie pojawił się).

Człowieka traktuje się tutaj jako ułomny detektor sygnałów. Buduje on w swym układzie nerwowym dwa rozkłady aktywności. Jeden z nich odnosi się do prawdopodobieństwa akceptacji obiektu (P_A), drugi do prawdopodobieństwa odrzucenia obiektu (P_R). Stopień odseparowania tych dwóch rozkładów jest miarą wrażliwości percepcyjnej (d') operatora czuwającego w oczekiwaniu na sygnały lub dokonującego kontroli. Wrażliwość kontrolera można opisać matematycznie [3]. Teorię wykrywania sygnałów zastosowaną do podejmowania decyzji przez operatora podczas pracy pokazuje rys. 6.1.

Dodatkowo czynnikami, które mogą wpłynąć na poziom niezawodności człowieka podczas pracy są czynniki zawodności takie jak: zmęczenie i monotonia oraz napięcie emocjonalne (stres). Zmęczenie, które jest jednym z najbardziej charakterystycznych i powszechnych stanów człowieka ma naturę fizjologiczną oraz psychologiczną. Objawami zmęczenia jest utrata chęci do dalszej pracy, napięcie oraz niepokój. Wiedza o zmęczeniu umysłowym (psychicznym) jako czynniku zawodności ma duże znaczenie praktyczne, w szczególności w projektowaniu tzw. reżimów pracy operatora, gdzie takie zmęczenie dominuje [10].



Rys. 6.1 Teoria wykrywania sygnałów zastosowana do zachowania kontrolera (operatora)

P_A – prawdopodobieństwo przyjęcia (akceptacji detalu)
P_R – prawdopodobieństwo odrzucenia (dyskwalifikacji detalu)
x_A – średnia liczba przyjętych detali, x_R - średnia liczba odrzuconych detali
x_C – średnia kryterialna, d' – wrażliwość kontrolera (discriminability)

Źródło: [3]

6.4 WSKAŹNIKI NIEZAWODNOŚCI CZŁOWIEKA

Dotychczas w badaniach nad niezawodnością człowieka próbowano stosować wskaźniki opracowane w dziedzinie nauk technicznych oparte na teorii prawdopodobieństwa. Ich stosowanie wymaga określenia takich wielkości charakteryzujących pracę człowieka jak [9]:

- średni czas między dwoma uchybieniami w pracy (błędami),
- ogólna liczba błędów popełnionych w danym odcinku czasu,
- procent poprawnie wykonanych zadań w danym odcinku czasu.

Według B. F. Łomowa [7], głównymi wskaźnikami ilościowymi niezawodności człowieka są: wskaźnik bezbłędności, gotowości, restytucji oraz aktualności (adekwatności czasowej działania operatora).

Wskaźnik bezbłędności to prawdopodobieństwo bezbłędnej pracy operatora, które można wyznaczyć w odniesieniu do wyróżnionej operacji oraz do całego algorytmu czynności. Wskaźnik ten wyraża się wzorem:

$$P_j = \frac{N_j - n_j}{N_j}, \tag{6.1}$$

gdzie:
P_j – prawdopodobieństwo bezbłędnego wykonania operacji,
N_j – ogólna liczba wykonanych operacji,
n_j – liczba popełnionych błędów.

Wskaźnik restytucji wiąże się z możliwością samokontroli operatora i dokonywania poprawek w działaniu. Wskaźnik ten wyraża się prawdopodobieństwem poprawienia popełnionych przez operatora błędów:

$$P_{pop} = P_k \cdot P_{wyk} \cdot P_p, \tag{6.2}$$

gdzie:
P_{pop} – prawdopodobieństwo włączenia się operatora do działania po pojawieniu się błędu w celu jego skorygowania,
P_k – prawdopodobieństwo wysłania sygnału przez mechanizm kontrolujący,
P_{wyk} – prawdopodobieństwo wykrycia przez operatora sygnału pochodzącego z urządzenia kontrolującego,
P_p – prawdopodobieństwo skorygowania błędnych operacji przy powtórnym ich wykonaniu.

Wskaźnik aktualności (adekwatności czasowej działania operatora) wprowadza się ze względu na fakt, że poprawne lecz wykonane w niewłaściwym czasie działanie nie prowadzi do celu. Często na wykonanie określonych operacji przeznacza się ściśle określony czas. Jego przekroczenie uważa się za błąd. Wskaźnik adekwatności czasowej operatora wyraża się prawdopodobieństwem wykonania zadań w czasie $\tau < t_l$. Wyraża się ono wzorem:

$$P_a = P\{\tau < t_l\} = \int_0^{t_l} f(\tau)d\tau, \tag{6.3}$$

gdzie:
P_a – prawdopodobieństwo aktualności,
$f(\tau)$ – funkcja czasowego rozkładu wykonania zadania przez operatora.

Wzór ten ma zastosowanie jeśli t_l jest wielkością stałą. W niektórych przypadkach uwzględnia się również tzw. wskaźnik gotowości operatora jako prawdopodobieństwo włączenia się operatora do działania w dowolnym momencie. Wyraża się wzorem [10]:

$$K = 1 - \frac{T_0}{T}, \tag{6.4}$$

gdzie:
K – wskaźnik gotowości,
T_0 – czas wyłączenia się operatora z pracy, jego nieobecności w danym okresie na danym stanowisku pracy,
T – całkowity czas pracy operatora.

Określając niezawodność człowieka na określonym stanowisku pracy należy uwzględnić te wskaźniki, które mają największy wpływ na osiągnięcie celu postawionego przed operatorem.

6.5 NIEZAWODNOŚĆ OBIEKTU TECHNICZNEGO

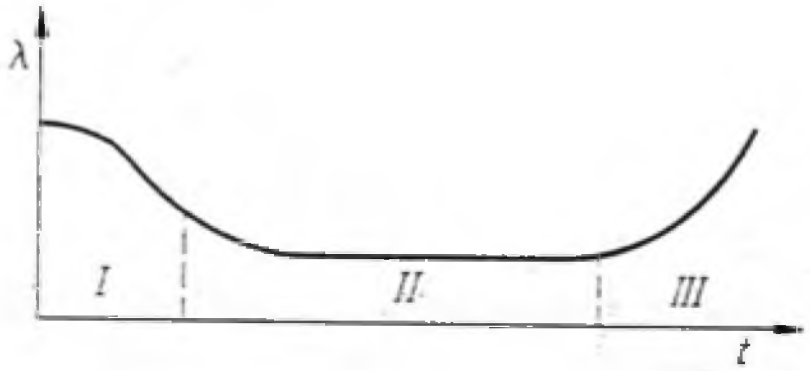
W określaniu niezawodności obiektów technicznych stosuje się metody badawcze pozwalające na uzyskiwanie i przetwarzanie informacji o takich własnościach obiektów technicznych, jakie ujawniają się w procesie ich użytkowania i świadczą o ich przydatności w realizacji zadań, dla których zostały one skonstruowane i wyprodukowane. W teorii niezawodności korzysta się w szerokim zakresie z modeli matematycznych – głównie probabilistycznych. W opisie niezawodności maszyn i urządzeń najczęściej stosuje się modele matematyczne prostych obiektów technicznych z podziałem na:

- obiekty nieodnawialne,
- obiekty złożone,
- obiekty odnawialne,
- obiekty złożone odnawialne.

W przypadku obiektu nieodnawialnego modelem matematycznym opisującym jego niezawodność tzn. przewidywalną i określoną zdolność do realizacji nakładanych zadań w określonych warunkach i określonym przedziale czasowym jest ciągła zmienna losowa T nazywana czasem zdatności lub trwałością obiektu. Podstawową miarą niezawodności obiektu w przedziale czasu $[0, t]$ jest wtedy prawdopodobieństwo:

$$R(t) = P(T \geq t), \text{ dla } t \geq 0 \tag{6.5}$$

nazywane niezawodnością obiektu. R jako funkcja czasu t bywa też nazywana funkcją niezawodności. Oprócz funkcji niezawodności wyznacza się również inne funkcje charakteryzujące czas zdatności obiektu. Są nimi: funkcja zawodności obiektu, gęstość prawdopodobieństwa (poprawnego działania) oraz funkcja intensywności uszkodzeń λ. Typowy przebieg funkcji intensywności uszkodzeń przedstawia rys. 6.2.



Rys. 6.2 Zależność intensywności uszkodzeń λ w funkcji czasu t

Źródło: [2]

Na osi czasu wyróżnić można trzy przedziały:

- I – okres dużej i malejącej intensywności uszkodzeń spowodowany ujawnianiem się wad produkcyjnych itp.
- II – okres w przybliżeniu stałej intensywności uszkodzeń, których pojawianie się ma charakter awarii,
- III – okres rosnącej intensywności uszkodzeń odzwierciedlającej zużycie obiektów.

Zależności między charakterystykami funkcyjnymi czasu zdatności pozwalają na otrzymywanie różnorakich informacji o czasie zdatności obiektów technicznych z danej populacji. Obok charakterystyk funkcyjnych bądź też zamiast tych charakterystyk stosuje się tzw. charakterystyki liczbowe. Najważniejszą rolę odgrywa tu wartość czasu zdatności, którą nazywa się oczekiwanym czasem zdatności [2].

Wyżej opisane zależności odnosiły się do obiektu jako całości. W praktyce ocenia się niezawodność obiektu (urządzenia) szukając związków pomiędzy niezawodnością obiektu a niezawodnością jego elementów składowych. Należy wtedy dokonać analizy niezawodności struktury obiektu. Celem takiej analizy jest uzyskanie oceny wpływu każdego węzła konstrukcyjnego (układu, zespołu elementów np. silnika) na możliwości realizacji zadania przez obiekt (dane urządzenie, maszynę). Wymaga to między innymi:

- określenia elementów składowych obiektu,
- oceny realizacji zachodzących między elementami,
- opracowania zasad odwzorowania struktury obiektu.

Przynależność elementu do obiektu uwarunkowana jest jego działaniem w spełnianiu funkcji w tym obiekcie. Funkcje jakie spełniają w obiekcie poszczególne elementy można podzielić na: funkcje podstawowe, rezerwowe oraz podrzędne (pasywne). Wyróżnienie takich elementów stwarza potrzebę szczegółowej analizy logicznej obiektu pod kątem wpływu rozpatrywanego elementu na możliwość realizacji zadania przez obiekt. Analizę taką przeprowadza się w oparciu o informacje zawarte w dokumentacji technicznej.

Elementy, które spełniają funkcję podstawową przy realizacji danego zadania, przedstawia się w postaci sprzężenia szeregowego (struktura szeregowa). Niezawodność obiektu o strukturze szeregowej wyraża się iloczynem k elementów, z których składa się ten obiekt, czyli:

$$R(t_e) = R_1(t_{e1})\cdot R_2(t_{e2})\cdot R_3(t_{e3})\cdot \ldots \cdot R_k(t_{ek}) \tag{6.6}$$

Jest to prawo iloczynu opisujące niezawodność obiektu składającego się z elementów tworzących jedną linię działania. Uszkodzenie w tym przypadku dowolnego elementu powoduje uszkodzenie całego obiektu, a niezawodności poszczególnych elementów są od siebie niezależne.

Elementy rezerwowe, nie biorące bezpośrednio udziału w realizacji danego zadania, przedstawia się w postaci sprzężenia równoległego. Sprzężenie równoległe (alternatywne) charakteryzuje się tym, że w celu realizacji zadania przez obiekt, konieczne jest prawidłowe działanie tylko jednego elementu. Pozostałe elementy stanowią rezerwę obiektu i wchodzą do pracy w przypadku uszkodzenia elementu podstawowego. Obiekt w takim przypadku przestaje działać, jeśli zawiodą wszystkie jego elementy składowe. Niezawodność obiektu z elementami w układzie równoległym wyrazi się zależnością:

$$R_k(t) = 1- (1-R_1)\cdot(1-R_2)\cdot \ldots \cdot(1- R_k) \tag{6.7}$$

lub w przypadku identycznych elementów:

$$R_k(t) = 1- (1-R_1)^k, \tag{6.8}$$

gdzie:
k – liczba elementów obiektu.

Jest to prawo rezerwy. Niezawodność takiego obiektu zwiększa się, gdy liczba elementów k zwiększa się. Element obiektu zalicza się do zbioru elementów pasywnych, jeśli jego uszkodzenie (lub jego brak) nie uniemożliwia realizacji rozpatrywanego zadania obiektu. Elementy, które spełniają funkcję podrzędną (pasywną) przy realizacji zadania obiektu przedstawia się w postaci tzw. połączeń pośrednich. Połączenie pośrednie charakteryzuje się tym, że konieczne jest prawidłowe działanie elementów w tym powiązaniu dla osiągnięcia i utrzymania wymaganego poziomu takich cech określających jakość użytkową jak dogodność użytkowania, dogodność obsługiwania oraz walory estetyczne [12].

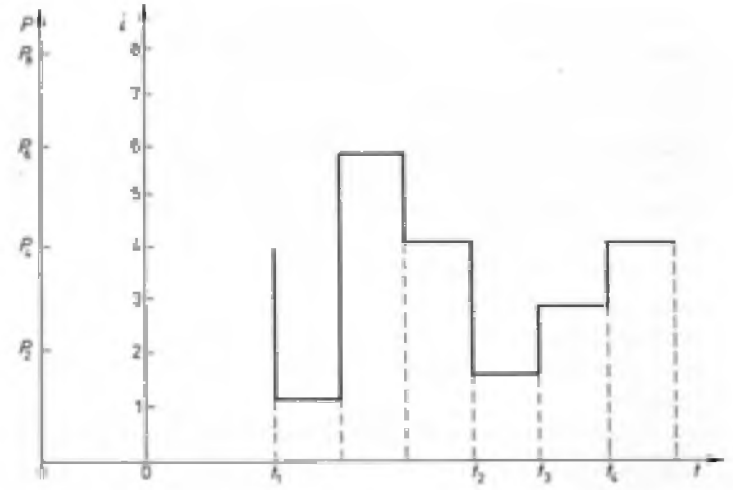
6.6 NIEZAWODNOŚĆ UKŁADU CZŁOWIEK-MASZYNA

Swoistą właściwością człowieka jako części składowej podsystemu jest z jednej strony możliwość popełniania błędów, z drugiej strony zdolność uczenia się i dochodzenia do wprawy. Właściwością maszyny jako części składowej podsystemu jest z jednej strony możliwość bezbłędnej, powtarzalnie wykonywanej pracy, z drugiej strony brak możliwości czynności samosterowniczej maszyny (brak zdolności uczenia się). Właściwości człowieka i maszyny jako elementów systemu różnie wpływają na niezawodność systemu. Jak do tej pory łatwiej jest korygować właściwości maszyn niż ludzi. Stosując wymienione powyżej wskaźniki niezawodności w odniesieniu do człowieka należy pamiętać, że każda jego cecha nie jest wielkością stałą, lecz zmienia się w miarę upływu czasu i jest uwarunkowana zmianami zachodzącymi w otoczeniu oraz w samym człowieku. Przy określaniu niezawodności człowieka w każdym przypadku należy wybrać określony czynnik najbardziej charakterystyczny dla danego rodzaju czynności. Z każdym z tych czynników związany jest określony stan układu człowiek-maszyna i dla każdego z tych stanów należy określić konkretne znaczenie badanego wskaźnika niezawodności operatora. Jeśli przyjmiemy, że układ może przyjmować stany: i_1, i_2, ..., i_n, to w każdym z nich niezawodność operatora przyjmuje stany: P_{op1}, P_{op2}, P_{op3}, ..., P_{opn}. Na przykład w interwale czasowym 0 - t_1, t_2 - t_3, t_4 - t_5 (rys. 6.3) układ człowiek-obiekt techniczny znajduje się w stanie i = 4. Stan ten jest uwarunkowany działaniem czynników decydujących o niezawodności pracy operatora, która w tym czasie równa się P_{op4}. Przy działaniu innych czynników układ znajduje się w innych stanach i każdemu z nich odpowiada określona wartość niezawodności operatora.

Przy uwzględnieniu przyjętych wcześniej założeń, wartość prawdopodobieństwa bezbłędnej pracy operatora wynosi [10]:

$$P_{op} = \sum_{i=1}^{n} P_i \cdot P_{op\,|i}, \tag{6.9}$$

gdzie:
P_i – prawdopodobieństwo wystąpienia i-tego stanu układu,
$P_{op\,|i}$ – prawdopodobieństwo bezbłędnej pracy operatora w i-tym stanie,
n – liczba rozpatrywanych stanów układu.



Rys. 6.3 Dynamika zmian stanów układu człowiek-obiekt techniczny – przykład wykresu
Źródło: [7]

Prawdopodobieństwo $P_{op\ li}$ (warunkowe) dotyczące pracy operatora można otrzymać eksperymentalnie [7, 10]. Natomiast prawdopodobieństwo P_i w wielu przypadkach udaje się określić za pomocą matematycznych metod teorii masowej obsługi. W teorii tej rozpatruje się zachowanie obiektu technicznego w eksploatacji, czyli w okresie poprawnej pracy (tzw. trwałości T). Prawidłowość statystyczną zachowania się każdego z elementów układu technicznego opisuje rozkład teoretyczny zmiennej losowej T, który ustala związek między możliwymi wartościami zmiennej T i odpowiadającymi im prawdopodobieństwami P.

Niezawodność obiektu technicznego rozumiana jest jako szansa, że obiekt będzie działał sprawnie przez określony czas lub jako czas bezawaryjnej pracy przy określonym prawdopodobieństwie. Miarą niezawodności jest zatem prawdopodobieństwo P_i bezusterkowej pracy określonego obiektu, w przyjętych warunkach eksploatacji i w danym czasie użytkowania. Niezawodność ta może być wyznaczona dla elementów znajdujących się na różnym poziomie złożoności: części, podzespołów, zespołów, mechanizmów, układów lub całych urządzeń. Na każdym z tych poziomów mogą być stosowane te same charakterystyki niezawodności, powiązane ze sobą określonymi zależnościami (struktury szeregowe, równoległe, szeregowo-równoległe oraz równoległo-szeregowe) [8, 12].

PODSUMOWANIE

Koszty nowoczesnej techniki we współczesnym świecie są coraz wyższe, lecz koszty związane z zawodnością człowieka jako integralnego ogniwa współpracującego z wytworami techniki, mogą okazać się tak wysokie, że nie starczy środków na ich pokrycie. Natomiast konsekwencje ludzkich błędów powinny być wystarczającym uzasadnieniem konieczności ich badania. Wiedza o całokształcie subiektywnych uwarunkowań niezawodnej pracy człowieka jest niezbędna przy projektowaniu właściwego środowiska pracy, zwłaszcza przy projektowaniu układu człowiek-obiekt techniczny, czy też człowiek-stanowisko pracy. Człowieka należy traktować jako bardzo

specyficzne ogniwo układu, wobec którego techniczna teoria niezawodności ma ograniczone i przybliżone zastosowanie. Przy określaniu niezawodności całego układu człowiek-obiekt techniczny muszą być spełnione pewne warunki. Przede wszystkim wskaźniki dla wszystkich ogniw układu muszą być jednakowego typu. Do obliczeń można wykorzystać aparat matematyczny stosowany w teorii niezawodności z wyraźnym zaznaczeniem wielkości dotyczących człowieka wśród pozostałych ogniw układu.

LITERATURA

1 Bobniewa M.: Problem niezawodności człowieka, w Z. Kapuścińska, J. Okóń, Psychologia inżynieryjna w ZSRR i USA, Wyd. KiW, Warszawa 1969.

2 Bobrowski D., Modele i metody matematyczne teorii niezawodności, Wyd. NT Warszawa 1985.

3 Drury C. G., Fox J. G., Human reliability in quality control, w: Taylor and Francis, London 1975.

4 Gembalska-Kwiecień A.: Wpływ czynnika ludzkiego na wypadki przy pracy w hutnictwie. Rozprawa doktorska. s. 134, Politechnika Częstochowska. Wydział Zarządzania. Częstochowa, 2002.

5 Kiliński A.: Niektóre problemy ogólnej teorii niezawodności, w: Problemy Kolejnictwa, nr 51, 1971.

6 Kliński A.: Definicje opisowo-analityczne i wartościująco-normatywne podstawowych pojęć teorii niezawodności, w Prakseologia, nr 38/1971 r.

7 Łomow B. F.: Osnowy inżyniernoj psychologii, Wysszaja Szkoła, Moskwa 1977.

8 Migdalski J.: Inżynieria niezawodności. Poradnik, Wyd. ATR, Bydgoszcz 1992.

9 Niebylicyn W. D., Niezawodność pracy operatora w złożonym układzie sterowania, w: Z. Kapuścińska, J. Okóń, Psychologia inżynieryjna w ZSRR i USA, Wyd. KiW, Warszawa 1969.

10 Ratajczyk Z.: Niezawodność człowieka w pracy. Studium psychologiczne, Wyd. PWN, Warszawa 1988.

11 Rouse W. B., Rouse S. H.: Analysis and classification of human errors, Transactions on Systems, Man and Cybernetics, IEEE 1983, t. SMC 13.

12 Słowiński B.: Podstawy badań i oceny niezawodności obiektów technicznych, Wyd. Uczelniane Politechniki Koszalińskiej, 2002.

13 Swets J. A., Tanner W. P., Birdsall T. G.: Decision processes in perception: w Psychological Review, nr 68, 1961.

NIEZAWODNOŚĆ CZŁOWIEKA I NIEZAWODNOŚĆ TECHNICZNA W PROCESIE PRACY UKŁADU CZŁOWIEK-MASZYNA

Streszczenie. *Artykuł przedstawia próbę syntezy metod oceny niezawodności człowieka z metodami oceny niezawodności obiektu technicznego w układzie człowiek-maszyna. W opracowaniu przedstawiono wskaźniki niezawodności człowieka proponowane przez psychologów jako mierniki prawdopodobieństwa bezbłędnej pracy człowieka. Przedstawiono również propozycję uwzględnienia wskaźników niezawodności człowieka w określeniu niezawodności układu człowiek-maszyna z zastosowaniem opisu matematycznego stosowanego w teorii niezawodności technicznej.*

Słowa kluczowe: *Niezawodność człowieka, niezawodność techniczna, wskaźniki niezawodności*

HUMAN RELIABILITY AND TECHNICAL RELIABILITY IN THE WORK PROCESS OF THE MAN-MACHINE SYSTEM

Abstract. *This article presents an attempt of synthesis methods for human reliability assessment and methods for the assessment of the reliability of a technical object in the man-machine system. The paper presents indicators of human reliability proposed by psychologists as measures of the probability of human error-free operation. Also presented a proposal to take into account indicators of human reliability in determining the reliability of the human-machine system using mathematical description used in the theory of technical reliability.*

Key words: *Human reliability, technical reliability, reliability indicators*

dr inż. Jolanta IGNAC-NOWICKA
dr Anna GEMBALSKA-KWIECIEŃ
Politechnika Śląska
Wydział Organizacji i Zarządzania
Instytut Inżynierii Produkcji
ul. Roosevelta 26, 41-800 Zabrze
e-mail: Jolanta.Ignac-Nowicka@polsl.pl, Anna.Gembalska-Kwiecień@polsl.pl