ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 2003
Seria: TRANSPORT z. 49 Nr kol. 1605

Iwona GRABAREK

DIAGNOZOWANIE ERGONOMICZNE UKŁADU MASZYNISTA-LOKOMOTYWA-OTOCZENIE

Streszczenie. W pracy przedstawiono problemy diagnozowania ergonomicznego układu operator - pojazd szynowy - otoczenie i w efekcie trzy autorskie metody oceny: *wagową, wagowo-rozmytą* oraz *rozmytą*. Podstawą dwóch pierwszych metod są badania ankietowo-ekspertowe, w wyniku których uzyskuje się cechy priorytetowe i ich wagi, charakteryzujące czynnik ludzki, konstrukcyjno-techniczny i materialnego środowiska pracy oraz cząstkowe wskaźniki poziomu ergonomicznej jakości. Metodę *wagową* i *wagowo-rozmytą* zweryfikowano na przykładzie lokomotyw elektrycznych.

ERGONOMIC DIAGNOSIS OF THE DRIVER - LOCOMOTIVE - ENVIRONMENT SYSTEM

Summary. This paper concerns the problems of ergonomic diagnosis in operator - railway vehicle - environment systems. The three evaluation methods of her own, referred to respectively as the *weighted*, *weighted-fuzzy* and *fuzzy* procedures were presented. In the first two methods, questionnaire/expert-based surveys are used to determine the priority features (and their weights) which characterize the human factor, the design/technological factor and the material work environment factor as well as individual ergonomic quality components. The *weighted* and *weighted-fuzzy* methods were verified using the example of electric locomotives.

1. WSTĘP

Problem współdziałania człowieka z maszyną szczególnego znaczenia nabiera w transporcie pasażerskim, gdzie skutki błędu człowieka decydują o bezpieczeństwie wielu ludzi. Badania wykazują, że w transporcie kolejowym przyczyną 75-80% wypadków jest człowiek. Jednak warunkiem zwiększenia bezpieczeństwa jazdy jest przede wszystkim dostosowanie pojazdu do człowieka. Wynika to z tego, że poddaje się on próbom kształtowania

w ograniczonym stopniu, natomiast konstrukcję pojazdu można w większym zakresie przekształcać i dostosowywać do wymagań człowieka.

W każdym z zakresów badań ergonomicznych konieczne jest przeprowadzenie diagnozowania ergonomicznego, czyli zastosowania odpowiednich metod oceny w badaniu układu człowiek-maszyna-otoczenie, określających poziom niezgodności z wymaganiami ergonomicznymi. Opracowanie metod oceny ergonomicznej, uwzględniających wieloaspektową ocenę czynników, daje podstawę do sformułowania prawidłowej diagnozy układu, która staje się punktem wyjścia do projektowania działań modernizacyjnych. Realizacja tego zadania wymagała analizy przydatności istniejących procedur badawczych diagnozowania ergonomicznego. Na tej podstawie opracowano autorskie metody, specyficzne dla układu operator - pojazd szynowy - otoczenie, wykorzystujące przede wszystkim metodę ankietowo - ekspertową oraz modelowanie i symulację komputerową.

Zastosowano również aparat metodologiczny zbiorów rozmytych, pozwalający na analizę działania człowieka z punktu widzenia warunków występujących na stanowisku pracy. Metody te zweryfikowano w lokomotywach elektrycznych.

2. DIAGNOZOWANIE W ERGONOMII

W celu uzyskania i utrzymania ergonomicznych parametrów stanowisk pracy na odpowiednim poziomie należy wykryć i usunąć wszelkie nieprawidłowości. Określane są one na podstawie porównania istniejącego stanu z kryteriami ergonomicznymi, czyli w procesie diagnozowania ergonomicznego. Pojęcie „diagnozowanie ergonomiczne" [3] zostało wprowadzone analitycznych w celu określenia „analitycznych procedur badawczych, których celem jest sformułowanie diagnozy ergonomicznej specyficznego przedmiotu badań, jakim jest tzw. ergonomiczny system przemysłowy (ESP)".

Z diagnozowaniem ergonomicznym ściśle związany jest problem oceny badanego układu. W ergonomii znaczenie tego terminu określane jest różnorodnie. Przyjęto następującą definicję: „ocena ergonomiczna to badanie wartości czynnika ergonomicznego, polegające na porównaniu zmierzonej lub określonej wielkości z warunkami zawartymi we wzorcach". Wzorcami tymi mogą być określone normy i normatywy dla czynników mierzalnych lub umownie przyjęte standardy dla czynników niemierzalnych.

Analiza metod oceny prowadzi do stwierdzenia, że ich dobór jest tym trudniejszy, im bardziej złożony jest układ człowiek - maszyna - otoczenie. Szczególne znaczenie ma to w układzie operatorskim, w którym ustalenie ważności cech charakterystycznych i ich ocen decyduje o prawidłowości postawionej diagnozy ergonomicznej. Zarówno badania teoretyczne, jak i empiryczne wskazują, że poznanie wzajemnego oddziaływania człowieka, maszyny i otoczenia jest najtrudniejszym zagadnieniem analizy układu. Wynika to ze złożoności podukładu - „człowiek", jak i ograniczonej przydatności wykorzystania w tym zakresie metod tradycyjnych, opartych na prawach mechaniki.

Modelowanie i symulacja wybranych działań człowieka, jako elementu układu człowiek - maszyna - otoczenie, daje możliwość przewidywania jego zachowania zarówno w normalnych, jak i w ekstremalnych warunkach pracy. W literaturze przedstawione są różne próby i podejścia do rozwiązania tego problemu. Szerokie zastosowanie mają modele mechanistyczne. Tego rodzaju modele pozwalają określić strukturę wymiarową stanowisk pracy lub umożliwić analizę

bezpieczeństwa pracy. Obserwuje się również wyraźne trendy zmierzające do modelowania działań człowieka (w układzie człowiek - maszyna - środowisko) technikami heurystycznymi. Takie modele, zintegrowane z uprzednio wymienionymi modelami mechanicznymi, dają możliwość przewidywania skutków działania człowieka.

3. ZAŁOŻENIA METODYCZNE DIAGNOZOWANIA ERGONOMICZNEGO UKŁADU OPERATOR - POJAZD SZYNOWY - OTOCZENIE

Działanie układu operator - pojazd szynowy - otoczenie zależy w dużej mierze od projektanta, który dokonuje podziału zadań między operatorem a pojazdem. Podział ten zmienia się wraz z postępem technicznym i ze stopniem automatyzacji procesów produkcyjnych. Stopień automatyzacji sterowania w kabinie zależny jest od typu, a tym samym od konstrukcji pojazdu szynowego. Musi ona być dostosowana do przewidywanej prędkości eksploatacyjnej, a ta z kolei do infrastruktury.

We wszystkich etapach projektowania i eksploatacji pojazdu pojawia się problem dostosowania jego kabiny wraz z wyposażeniem do operatora. W związku z tym istnieje potrzeba diagnozy całego układu w celu stwierdzenia stopnia zgodności jego cech z wymaganiami ergonomicznymi. Aktualna diagnoza ergonomiczna informuje projektanta lub eksploatatora o stopniu przystosowania projektu lub stanowiska pracy do anatomicznych, psychologicznych i fizjologicznych cech człowieka.

Znajomość poziomu ergonomicznej jakości eksploatowanego stanowiska pracy niezbędna jest również w podejmowaniu prawidłowych decyzji związanych z jego modernizacją i podwyższaniem komfortu pracy.

Wartość diagnozy zależy od jej trafności, w związku z tym musi być ona poprzedzona wstępnymi badaniami objawów, cech badanego stanu rzeczy, składających się na proces diagnozowania.

Przyjęto następujące założenia metodyczne procesu diagnozowania ergonomicznego:

- Metody diagnozowania mają charakter uniwersalny, co pozwala zastosować ją w różnych rodzajach pojazdów szynowych.
- Diagnoza końcowa stanowiska pracy operatora obejmuje czynniki: ludzki, konstrukcyjno – techniczny, materialnego środowiska pracy, których ocena ma charakter jakościowy lub ilościowy.
- Diagnoza wyrażona jest umownym wskaźnikiem, tzw. globalnym współczynnikiem diagnozy, umożliwiającym porównanie poziomu ergonomicznej jakości stanowisk pracy w pojazdach szynowych tego samego rodzaju.
- Globalny współczynnik diagnozy można wyznaczyć na podstawie:
  - uogólnionych współczynników wagowych wyznaczonych dla każdego czynnika,
  - czasu reakcji oddziaływania maszynisty na urządzenia sterownicze.

Uogólnione współczynniki wagowe wyznaczono dla każdego czynnika według zasad:

1. Udział czynników w sformułowaniu globalnego współczynnika diagnozy jest jednakowy, (obecny stan wiedzy nie pozwala na racjonalne zróżnicowanie udziału tych czynników; w literaturze znaleźć można jedynie śladowe badania dotyczące tego zagadnienia [5]).
2. Każdy czynnik opisany jest cechami wartościującymi jego poziom ergonomicznej jakości.

3. Ilość i rodzaj cech opisujących poszczególne czynniki determinuje specyfika diagnozowanego stanowiska.
4. Cechy nazwane priorytetowymi, jakościowo i ilościowo tworzą zbiór stosowany, zarówno do oceny ustalonych czynników, jak i w formułowaniu końcowej diagnozy ergonomicznej.
5. Różnicowanie cech każdego czynnika następuje poprzez nadanie im wag przez ekspertów,
6. Cechy priorytetowe i przynależne im wagi określone są na podstawie wyników badań ankietowo-ekspertowych.
7. Wartości wag dla poszczególnych cech są wynikiem uśrednienia wartości uzyskanych z badań ankietowych.
8. Wagi są zmiennymi losowymi.
9. Każda cecha podlega ocenie zgodnie z określonym dla niej kryterium ergonomicznym,
10. Przyjmuje się następujący 4-stopniowy podział kryteriów ocen:
    2 - **ocena niedostateczna** (stan cechy niedopuszczalny, powodujący niedopuszczenie do pracy, stwarzający zagrożenie, dezorganizujący pracę),
    3 - **ocena dostateczna** (stan cechy powodujący uciążliwość pracy, ale nie stwarzający zagrożenia),
    4 - **ocena dobra** (stan cechy stwarzający minimalną uciążliwość pracy, nie dający jednak poczucia komfortu pracy),
    5 - **ocena bardzo dobra** (stan cechy nie budzący zastrzeżeń, dający poczucie komfortu).
11. Przyjmuje się dwie metody określenia uogólnionych współczynników wagowych:
    - metodę *wagową*, w której współczynniki te mają postać:

$$Q_{j\ j=1,2,3} = \frac{\sum_{i=1}^{n} a_{ij} M_{ij}}{\sum_{i=1}^{n} a_{ij}} \tag{3.1}$$

gdzie: Q_j - uogólniony wagowy współczynnik oceny j-tego czynnika
a_i - waga i-tej cechy j-tego czynnika
M_i - ocena i-tej cechy j-tego czynnika

- metodę *wagowo–rozmytą*, w której uogólnione współczynniki generowane są z heurystycznego modelu lingwistycznego.

12. Zgodnie z przyjętymi kryteriami ocen, za nie odpowiadające wymaganiom ergonomicznym uzna się te stanowiska, na których chociaż jedna z cech uzyska ocenę niedostateczną (2). W takim przypadku zarówno uogólniony współczynnik wagowy, jak i współczynnik globalnej diagnozy przyjmują wartość niedostateczną (2). Hipotetycznie ocena niedostateczna oznacza niedopuszczenie stanowiska do eksploatacji aż do momentu poprawienia istniejącego stanu cechy.
13. Dodatkowo na każdym stanowisku pracy należy ocenić te cechy, które mimo że decydują o uciążliwości pracy, nie mogą być zidentyfikowane subiektywnie przez ekspertów, ze względu na nieswoiste ich oddziaływanie. Dotyczy to: infradźwięków, ultradźwięków oraz pól elektromagnetycznych. Poziom cech zmierzonych dodatkowo nie może kształtować się poniżej wartości dopuszczalnych, w przeciwnym razie niezależnie od wartości Q_{glob} stanowisko nie powinno być dopuszczone do eksploatacji.
14. Końcowa postać globalnego współczynnika diagnozy ergonomicznej - Q_{glob} określona zostanie wzorem:

$$Q_{glob} = \begin{cases} \dfrac{\sum_{j=1}^{3} Q_j}{3} & \bigwedge_{ij} M_{ij} \neq 2 \\ 2 & \bigvee_{ij} M_{ij} = 2 \end{cases} \tag{3.2}$$

gdzie: Q_1 - uogólniony wagowy współczynnik oceny „czynnika ludzkiego",

Q_2 - uogólniony wagowy współczynnik oceny „czynnika konstrukcyjno-technicznego",

Q_3 - uogólniony wagowy współczynnik oceny „czynnika materialnego środowiska pracy",

- Ocena wyższa lub równa dostatecznej oznacza, że poziom ergonomicznej jakości badanego stanowiska pracy mieści się w przedziale od dostatecznego do bardzo dobrego. Globalny współczynnik diagnozy służy nie tylko do porównania poziomu ergonomicznej jakości kabiny operatora w różnych egzemplarzach badanego typu trakcyjnego pojazdu szynowego, ale także do określenia w zależności od wagowych współczynników, kolejności działań modernizacyjnych.
- Warunkiem ustalenia harmonogramu działań modernizacyjnych i wdrożeniowych dla konkretnego stanowiska pracy jest szczegółowa analiza uogólnionych współczynników wagowych określonych metodą *wagową* lub *wagowo-rozmytą* oraz destrukcyjnych cech ergonomicznych ocenianych metodą *rozmytą*. Konieczna jest również analiza poziomu cech mierzonych dodatkowo, nie mających bezpośredniego udziału w budowie globalnego współczynnika diagnozy.

W referacie omówiono i przedstawiono weryfikację tylko dwóch metod oceny: *wagowej* i *wagowo-rozmytej*. Metody te umożliwiają analizę istniejącego stanu poziomu ergonomicznej jakości układu maszynista-lokomotywa-otoczenie oraz dają podstawę do sformułowania kierunków i kolejności podejmowanych usprawnień w eksploatowanym taborze.

4. WDROŻENIE METODYKI DIAGNOZOWANIA ERGONOMICZNEGO NA PRZYKŁADZIE LOKOMOTYW ELEKTRYCZNYCH

Wśród trakcyjnych pojazdów szynowych znaczną jego część stanowią lokomotywy elektryczne oraz elektryczne zespoły trakcyjne. Ta grupa pojazdów szynowych od wielu lat stanowi przedmiot zainteresowań autorki, zapoczątkowanych przez prace badawcze na rzecz opracowania grupy norm, dotyczących wymagań ergonomicznych w kabinie lokomotyw elektrycznych. Ze względu na dużą liczbę lokomotyw elektrycznych, ich wiek i konieczność modernizacji, jaka stoi przed PKP, a także możliwość przeprowadzenia badań, tę grupę pojazdów wybrano do weryfikacji metodyki diagnozowania ergonomicznego.

Celem przeprowadzonych badań było ustalenie cech priorytetowych, charakteryzujących czynnik ludzki, konstrukcyjno–techniczny i materialne środowisko pracy wraz z odpowiadającymi im wagami. Uzyskane wartości stanowiły podstawę wyznaczania uogólnionych współczynników wagowych dwiema metodami: *wagową* i *wagowo-rozmytą*.

4.1. Ustalenie cech priorytetowych i ich wag

Badania ankietowe przeprowadzono w dwóch etapach. Celem etapu I było określenie cech priorytetowych. Analiza danych uzyskanych w tym etapie wykazała, że eksperci przy ocenie poziomu ergonomicznego stanowisk pracy maszynisty za priorytetowe uznali następujące cechy [1]:

- *czynnik ludzki* (CZL) - **kondycja psychofizyczna, przystosowanie do pracy, obciążenie psychiczne, staż pracy, wysiłek fizyczny;**
- *czynnik konstrukcyjno–techniczny* (CZK-T) - **widoczność szlaku, konstrukcja fotela, widoczność urządzeń sterowniczych i sygnalizacyjnych, struktura przestrzenna, rozmieszczenie pozostałego wyposażenia;**
- *czynnik materialnego środowiska pracy* (CZMŚP) - **hałas, drgania, mikroklimat, oświetlenie, zanieczyszczenia powietrza.**

Celem badań ankietowo-ekspertowych II etapu było nadanie wag przez ekspertów poszczególnym cechom, uznanym za priorytetowe w I etapie (część A ankiety) oraz dokonanie oceny poziomu ergonomicznej jakości w aktualnie eksploatowanych lokomotywach (część B ankiety).

Badania przeprowadzono wśród maszynistów i pracowników obsługi, zatrudnionych w czterech zakładach taboru, tj. krakowskim, warszawskim, lubelskim, szczecińskim, eksploatujących lokomotywy elektryczne tych samych typów i elektryczne zespoły trakcyjne, tzn. EP, EU, ET, oraz EZT. Uzyskano 843 prawidłowo wypełnionych ankiet. Według danych PKP, w wybranych zakładach taboru pracuje 1606 maszynistów trakcji elektrycznej. Ogólna liczba maszynistów tej trakcji wynosi 6850. Oznacza to, że dane ankietowe uzyskano od 11,5% populacji maszynistów trakcji elektrycznej (co jest wystarczające z punktu widzenia zaleceń statystyki).

Wagi, obliczone metodą uśrednienia danych zebranych drogą ankietową, wykazywały wyraźne zróżnicowanie. Wskazuje to na różne znaczenie, które ankieterzy przypisali kolejnym cechom z danej grupy. W obrębie czynnika ludzkiego największą wagę otrzymała cecha „przystosowanie do pracy", znaczenie której potwierdzają również badania literaturowe. W czynniku konstrukcyjno–technicznym cechę „widoczność szlaku" uznano za najważniejszą. W przypadku krajowego taboru cecha ta niewątpliwie ma bardzo duże znaczenie dla prawidłowego prowadzenia pociągu. W lokomotywach eksploatowanych w Polsce informacje odbierane są bezpośrednio ze szlaku lub z urządzeń sygnalizacyjnych. „Hałas" to cecha najważniejsza w obrębie czynnika materialnego środowiska. Utrzymanie parametrów tej cechy na dopuszczalnym lub niższym poziomie zapewnia większy komfort pracy i zmniejsza ryzyko popełnienia błędu przez maszynistę.

Tabela 1 zawiera wagi i odchylenia standardowe cech priorytetowych dla badanej populacji lokomotyw.

4.2. Budowa heurystycznego modelu lingwistycznego *wagowo-rozmytej* oceny

Jednym ze sposobów uzyskania uogólnionych współczynników wagowych było wykorzystanie metody *wagowo-rozmytej* oceny ergonomicznej.

W metodzie tej za podstawę przyjęto model lingwistyczny Takagi-Sugeno-Kanaga (TSK), wyrażony w postaci implikacji w obszarze logiki rozmytej. Ten sposób określenia uogólnionych współczynników wagowych różni się istotnie od zależności 3.1 przedstawionych w rozdziale 3.

Tabela 1

Wagi i odchylenia standardowe cech priorytetowych dla badanej populacji lokomotyw

Rodzaj czynnika	Nazwa cechy priorytetowej	Waga uśredniona	Odchylenie standardowe
Czynnik ludzki	kondycja psychofizyczna	4,04	0,0364
	przystosowanie do pracy	4,36	0,0395
	obciążenie psychiczne	3,10	0,0273
	staż pracy	2,11	0,0191
	wysiłek fizyczny	1,42	0,0122
Czynnik konstrukcyjno – techniczny	widoczność szlaku	4,72	0,0387
	konstrukcja fotela	3,12	0,0263
	widoczność urządzeń sterowniczych i sygnalizacyjnych	3,62	0,0319
	struktura przestrzenna	2,34	0,0207
	rozmieszczenie wyposażenia kabiny	1,21	0,0108
Czynnik materialnego środowiska pracy	hałas	4,76	0,0373
	drgania	3,82	0,0316
	mikroklimat	2,39	0,0229
	oświetlenie	2,70	0,0245
	zanieczyszczenia powietrza	1,34	0,0118

Pozwala on bowiem na uwzględnienie w nich relacji zachodzących między ocenianymi cechami. Przyjęto 4-stopniową skalę ocen każdej cechy, tj.: niedostateczna, dostateczna, dobra i bardzo dobra. Ocenę końcową nadawano według następującej skali stanów:

3,00 dopuszczalny
3,25 trochę więcej niż dopuszczalny
3,50 średnio dopuszczalny
3,75 mniej niż dobry
4,00 dobry
4,25 trochę więcej niż dobry
4,50 średnio dobry
4,75 mniej niż bardzo dobry
5,00 bardzo dobry

Przykładowy fragment modelu dla czynnika materialnego środowiska pracy przedstawiono poniżej.

„...*Jeżeli* hałas ma ocenę dobrą *i* drgania dostateczną *i* oświetlenie dostateczną *i* mikroklimat bardzo dobrą *i* zanieczyszczenia powietrza bardzo dobrą *to* Q_3 ma ocenę średnio dopuszczalną.

Jeżeli hałas ma ocenę dobrą *i* drgania dostateczną *i* oświetlenie dostateczną *i* mikroklimat bardzo dobrą *i* zanieczyszczenia powietrza dobrą, *to* Q_3 ma ocenę trochę więcej niż dopuszczalną.

Jeżeli hałas ma ocenę dobrą *i* drgania dostateczną *i* oświetlenie dostateczną *i* mikroklimat bardzo dobrą *i* zanieczyszczenia powietrza dostateczną, *to* Q_3 ma ocenę trochę więcej niż dopuszczalną...".

Model heurystyczny *wagowo–rozmytej* oceny ergonomicznej został implementowany numerycznie w środowisku Matlab-Simulink ver. 6.0. Zdekomponowano go na trzy podsystemy:

- oceny cech czynnika ludzkiego,
- oceny cech czynnika konstrukcyjno-technicznego,
- oceny cech czynnika materialnego środowiska pracy.

Uzyskane z tych trzech podsystemów oceny były podstawą określenia globalnego współczynnika diagnozy.

5. WYBRANE WYNIKI ZASTOSOWANEJ METODYKI DIAGNOZOWANIA ERGONOMICZNEGO

Oceny cech priorytetowych nadane zostały przez ekspertów w części B ankiety. Wykazywały one zależność stanu ocenianej cechy od typu lokomotywy, co z kolei wynika z poziomu rozwiązania konstrukcyjnego.

Uzyskane oceny cech czynnika ludzkiego kształtowały się w przedziale 3,39 – 4,15. Zwiększenie obciążenia psychicznego i wysiłku fizycznego wynika z monotonii i monotypowości pracy. Z jednej strony cechy te są charakterystyczne dla zawodu maszynisty, a z drugiej na obecnym poziomie rozwiązań konstrukcyjnych kabin lokomotyw eksploatowanych w Polsce trudno jest je wykluczyć. Poziom ergonomicznej jakości badanych stanowisk pracy w lokomotywach determinowany jest w dużym stopniu czynnikiem konstrukcyjno-technicznym. Uzyskane oceny świadczą o braku komfortu ergonomicznego w zakresie budowy fotela oraz struktury przestrzennej, na którą składa się rozmieszczenie USyg i US, decydujące o sprawności działania maszynisty i bezpieczeństwie ruchu kolejowego. Konstrukcja foteli jest niezgodna z normą PN-90/K-11001 przede wszystkim w zakresie tłumienia drgań oraz dodatkowego wyposażenia fotela (zagłówek, podłokietniki). W każdym typie lokomotywy fotele różnią się wymiarami. Z punktu widzenia wymagań ergonomicznych względnie najlepszy jest fotel w lokomotywie EP-09, a najgorszy w EU-07 i ET-22. Zaznaczyć należy, że w EN-57 fotel eksperci ocenili na 2,63. Ergonomiczne cechy struktury przestrzennej uzależnione są przede wszystkim od konstrukcji pulpitu sterowniczego. Konstrukcja ta determinuje rozmieszczenie USyg i US. Poziom ergonomicznej jakości pulpitów w lokomotywach EU-07 i ET-22 obniża kształt wspornika (kolumny wspornikowej) nastawnika jazdy. Jego konstrukcja powoduje niewygodną pozycję nóg w czasie pracy. Analizowana generacja pulpitów charakteryzuje się dużą liczbą urządzeń sygnalizacyjnych i urządzeń sterowniczych, których użytkowanie zmusza do większej koncentracji uwagi maszynisty, pośrednio wpływając na wzrost monotonii pracy. Szczególnie ma to znaczenie w przypadku lokomotyw EN-57, EU-07 oraz ET-22, w których maszynista pracuje bez pomocnika. Obsługa EP-09, ze względu na osiąganą podczas jazdy prędkość (większą od 130 km/h), jest dwuosobowa. Analiza wyników wykazała również niski poziom ocen cech CZMŚP. Jedynie w przypadku lokomotywy EP-09 żadna z cech tego czynnika nie uzyskała oceny niedostatecznej.

Tabela 2 zawiera uogólnione współczynniki wagowe oraz globalne współczynniki diagnozy ergonomicznej dla badanej populacji lokomotyw wyznaczone metodą *wagową*.

Zgodnie z założeniami diagnozowania ergonomicznego (rozdz.3) uogólnione współczynniki wagowe można również określić metodą *wagowo–rozmytą*. W celu porównania tych współczynników i globalnego współczynnika diagnozy uzyskanych metodą *wagową* i *wagowo-rozmytą* jako dane wejściowe przyjęto oceny cząstkowe dla lokomotywy EP-09. Wszystkie uśrednione oceny cząstkowe tej lokomotywy przekroczyły wartość 3. W wyniku otrzymano wartości współczynników przedstawione w tabeli 3. Z zestawienia wynika, że metoda *wagowo-rozmyta* jest w ocenie poziomu ergonomicznej jakości bardziej rygorystyczna niż metoda *wagowa*.

Tabela 2

Uogólnione współczynniki wagowe i globalny współczynnik diagnozy ergonomicznej dla badanych lokomotyw wyznaczone metodą *„wagową"*

Współczynniki diagnozy	Cała grupa przebadanych lokomotyw	EU-07	EN-57	ET-22	EP-09
Uogólniony współczynnik wagowy CZL Q_1	4,02	4,00	3,97	4,00	4,29
Uogólniony współczynnik wagowy CZT-K Q_2	3,44	3,32	3,27	3,61	3,84
Uogólniony współczynnik wagowy CZMŚP Q_3	2,87	2,92	2,82	2,80	3,20
Globalny współczynnik diagnozy ergonomicznej Q_{glob}	3,44	3,41	3,35	3,47	3,78

Tabela 3

Zestawienie uogólnionych współczynników wagowych i globalnego współczynnika diagnozy dla lokomotywy EP-09 uzyskanych dwiema metodami

Rodzaj metody oceny	Q_1	Q_2	Q_3	Q_{glob}
Wagowa	4,29	3,84	3,20	3,78
Wagowo-rozmyta	4,18	3,72	3,04	3,65

Jednocześnie ma ona większe walory poznawcze , gdyż pozwala na uwzględnienie w ocenie relacji zachodzących między cechami w obrębie jednego czynnika. Najwyższy globalny współczynnik diagnozy ergonomicznej uzyskała lokomotywa EP-09, tzn. 3,78 w metodzie *wagowej* a 3,65 w metodzie *wagowo-rozmytej*.

Wśród badanych lokomotyw - lokomotywa EP-09 jest przykładem rozwiązania konstrukcyjnego w największym zakresie spełniającego wymagania ergonomiczne. Otrzymała ona zatem najlepsze oceny cech priorytetowych.

Przyjęte założenia metody diagnozy ergonomicznej stanowiska pracy maszynisty i wstępne jej zastosowanie umożliwiły rozpoznanie i ocenę ekspercką poziomu ergonomicznej jakości kabin w badanych lokomotywach elektrycznych. Określony w pracy Q_{glob} ma charakter heurystyczny, tzn. nie wynikający bezpośrednio z praw opartych na naukach przyrodniczo-technicznych i skorelowanych z nimi wzorów, pozwalających na ilościowe określenie zjawisk. Bazuje on na wagach i ocenach nadanych przez ekspertów. Ten sposób wartościowania wag i ocen zawiera elementy subiektywizmu, pomniejszone poprzez uśrednienia statystyczne. Uzyskane oceny cech priorytetowych jakościowo zgodne są z ocenami uzyskanymi "inaczej", tzn. przy wykorzystaniu m.in. technik pomiarowych.

6. PODSUMOWANIE

W referacie przedstawiono założenia metodyczne diagnozowania ergonomicznego, obejmującego wszystkie elementy układu, tj. operatora, pojazd szynowy i otoczenie.

Przedstawione autorskie metody oceny mogą być wykorzystane zarówno przez ergonomię koncepcyjną, jak i korekcyjną. Omówione metody: *wagowa* i *wagowo-rozmyta* umożliwiają

analizę istniejącego stanu poziomu ergonomicznej jakości układu operator - pojazd szynowy – otoczenie oraz dają podstawę do sformułowania kierunków i kolejności podejmowanych usprawnień. Zastosowanie metod w układzie maszynista-lokomotywa-otoczenie pozwoliło wstępnie określić poziom ergonomicznej jakości eksploatowanego taboru.

Literatura

1. Grabarek I.: Diagnozowanie ergonomiczne układu operator - pojazd szynowy - otoczenie. Zeszyty Naukowe Wydziału Transportu Politechniki Warszawskiej, Seria: Transport, z.51, Warszawa 2003.
2. Grabarek I., Choromański W.: Computer Simulation of Dynamic Properties of the Complex Man - Railway Vehicle - Environment System, Proceedings of ASME, New York, USA, CD 2001.
3. Pacholski L.: Metodologia diagnozowania ergonomicznego w przedsiębiorstwie przemysłu meblarskiego, Politechnika Poznańska, Rozprawy, z. 81, Poznań 1977.
4. Salvendy G.(ed.): Handbook of Human Factors and Ergonomics. John Wiley @ Sons, New York 1997.
5. Tytyk E.: Projektowanie ergonomiczne. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2001.

Recenzent: Dr hab. Andrzej Nowak

Abstract

This paper concerns the problems of ergonomic diagnosis in operator - railway vehicle - environment systems. The author's own research and solutions derived from the literature of the subject served as the basis for formulating the methodical assumptions informing the ergonomic diagnosis procedures. Concerning the procedures, the author develops three evaluation methods of her own, referred to respectively as the *weighted*, *weighted-fuzzy* and *fuzzy* procedures. These are designed to assess a system's ergonomic level using global diagnosis coefficients. In the first two methods, questionnaire/expert-based surveys are used to determine the priority features (and their weights) which characterize the human factor, the design/technological factor and the material work environment factor as well as individual ergonomic quality components. The weighted and weighted-fuzzy methods were verified using the example of electric locomotives as a set of priority features was created and feature weights were assigned for the studied group of vehicles. To use the weighted-fuzzy method, it was necessary to develop a linguistic heuristic evaluation model (using fuzzy set implications). Four-grade criteria including implementation guidelines were developed to evaluate each feature. A questionnaire-based survey was carried out to evaluate the ergonomic quality levels in the driver's cockpits of the locomotives under examination by choosing one of the four expert-assigned grades for each feature.