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

Stanisław Janusz CIEŚLAKOWSKI

ERGONOMICZNE DIAGNOZOWANIE PRACY OPERATORA HAMULCÓW GRAWITACYJNEGO SYSTEMU ROZRZĄDOWEGO

Streszczenie. W artykule przedstawiono oryginalną koncepcję ergonomicznego diagnozowania pracy operatora hamulców grawitacyjnego systemu rozrządowego oraz wyniki przykładowej jej realizacji. Jako metodę badawczą zastosowano teorię masowej obsługi. Z badań wynika, że w 32-torowym grawitacyjnym systemie rozrządowym pulpit sterowniczy powinien być obsługiwany przez dwóch operatorów przy prędkości napychania wagonów $V_0 = 1{,}4$ m/s oraz przez jednego operatora przy $V_0 = 0{,}8$ m/s.

THE ERGONOMICAL DIAGNOSDTIC OF THE WORK OF THE OPERATOR OF RAIL BRAKES OF GRAVITATION MARSHALLING SYSTEM

Summary. The oryginal conception of the ergonomical diagnostic of the work of the operator of rail brakes of gravitation marshalling system and the results of its sample realization are presented in this article. As the research method, the queueing theory was used.

1. WSTĘP

W nowoczesnych stacjach rozrządowych PKP można wyróżnić trzy poziomy sterowania systemem automatycznego rozrządzania wagonów: ręczny, półautomatyczny i automatyczny. Ręczne sterowanie polega na indywidualnej obsłudze przez operatora przycisków zwrotnicowych i ręcznym zadawaniu żądanych prędkości wyjazdu odprzęgów z hamulców tocznych. Sterowanie półautomatyczne polega na automatycznym sterowaniu zwrotnicami i ręcznym zadawaniu żądanych prędkości wyjazdu odprzęgów z hamulców torowych. Przy pełnej automatyzacji zarówno zwrotnice, jak i hamulce są sterowane automatycznie. W każdym poziomie sterowania zachowana jest zasada priorytetu dla sterowania ręcznego.

Nowością w systemie automatycznego rozrządzania wagonów jest połączenie funkcji operatora hamulców torowych i nastawniczego zwrotnic strefy podziałowej w kompetencjach jednej osoby, zwanej operatorem.

W artykule przedstawiono koncepcję ergonomicznego diagnozowania pracy operatora hamulców grawitacyjnego systemu rozrządowego oraz wyniki przykładowej jej realizacji.

2. ZDEFINIOWANIE PROBLEMU

Sterowanie procesu rozrządzania wagonów odbywa się za pomocą systemu ergatycznego, w skład którego wchodzi człowiek operator i system automatycznego rozrządzania wagonów. Prawidłowe sterowanie odbywa się pod warunkiem nieprzeciążania manualnego operatora.

W celu zdiagnozowania, czy operator nie jest przeciążony manualnie, należy opracować metodę M przekształcającą proces technologiczny PT rozrządzania w obciążenie pracą operatora OP. Można to zapisać następująco:

$$M : PT \rightarrow OP \tag{1}$$

3. METODA BADAŃ I WYNIKI

Cechą współczesnej filozofii systemów ergatycznych (człowiek – obiekt techniczny) jest uznanie centralnej roli człowieka (operatora) w systemie [2].

Badania przeprowadzone przez Millera wskazują, ze człowiek pracujący w warunkach rosnącego obciążenia manualnego (work load) popełnia wiele błędów i stosuje pewne techniki przystosowawcze.

Przeciążenie manualne zmusza organizm do mobilizowania ukrytych rezerw. Gdy liczba wykonywanych czynności przekracza możliwości człowieka, wówczas stosuje on techniki zmniejszające (subiektywnie) liczbę wykonywanych operacji. Po wyczerpaniu wszystkich dostępnych możliwości (tj. wariantów organizacji funkcjonalnej) człowiek rezygnuje z wykonywania zadania. Przy sterowaniu automatycznym operator nadzoruje proces rozrządzania
i ingeruje w jego przebieg najczęściej z powodu nieprzestawienia się zwrotnicy lub jej błędnego przestawienia oraz w przypadku wymagającym odhamowania lub dohamowania odprzęgu wagonowego.

Na podstawie pracy [1] można przyjąć, że strumień zgłoszeń odprzęgów wagonowych na wierzchołek górki rozrządowej jest strumieniem Poissona, natomiast czas obsługi odprzęgów przez operatora jest stały.

W teorii masowej obsługi stosuje się następujące oznaczenia:

$1/\mu$ - czas obsługi [s],

λ - intensywność zgłoszeń [1/s],

$\rho = \lambda/\mu$ - intensywność ruchu.

W przypadku gdy strumień zgłoszeń jest strumieniem Poissona, a czas obsługi jest stały, tj. obsługa odbywa się każdorazowo w jednakowym okresie czasu $1/\mu$, wówczas można wykazać, że w przedstawionych warunkach zachodzą następujące zależności:

$$\text{Średnia długość kolejki} = \frac{\rho^2}{2(1-\rho)} \tag{2}$$

$$\text{Średni czas oczekiwania w kolejce} = \frac{\rho}{2\mu(1-\rho)} \tag{3}$$

Przy ręcznym poziomie sterowania dla zwrotnic i hamulców oraz przy półsamoczynnym dla hamulców czas obsługi wynosi:

$$1/\mu = T + t_s, \text{ [s]} \tag{4}$$

gdzie

T - czas przetwarzania informacji przez człowieka w sytuacji wyboru (czas reakcji) [s],

t_s - czas sterowania przez operatora [s].

Przy automatycznym poziomie sterowania czas obsługi wynosi:

$$1/\mu = T \quad [s] \tag{5}$$

Oznaczenia jak wyżej. Czas obsługi odprzęgów składa się z czasu obsługi zwrotnic $1/\mu_z$ i czasu obsługi hamulców $1/\mu_h$:

$$1/\mu = 1/\mu_z + 1/\mu_h \quad [s] \tag{6}$$

Czas obsługi zwrotnic wynosi:

- przy pracy w systemie ręcznym:

$$1/\mu_z = T_Z + t_{sz}, [s] \tag{7}$$

- przy pracy w systemie półautomatycznym i automatycznym:

$$1/\mu_z = T_Z \quad [s] \tag{8}$$

Czas obsługi hamulców składa się z czasu obsługi hamulców odstępowych $1/\mu_{ho}$ i hamulców docelowych $1/\mu_{hd}$:

$$1/\mu_h = 1/\mu_{ho} + 1/\mu_{hd} \quad [s] \tag{9}$$

Czas obsługi hamulców odstępowych wynosi:

- przy pracy w systemie ręcznym i półautomatycznym:

$$1/\mu_{ho} = T_{ho} + t_{sho}, [s] \tag{10}$$

- przy pracy w systemie automatycznym:

$$1/\mu_{ho} = T_{ho} \quad [s] \tag{11}$$

Czas obsługi hamulców docelowych wynosi:

- przy pracy w systemie ręcznym i półautomatycznym:

$$1/\mu_{hd} = T_{hd} + t_{shd}, [s] \tag{12}$$

- przy pracy w systemie automatycznym:

$$1/\mu_{hd} = T_{hd} \quad [s] \tag{13}$$

Czas T_Z możemy wyliczyć ze zmodyfikowanego wzoru podanego w pracy [1]:

$$T_Z = 0{,}179 + 0{,}079 \log_2(n_k \log_2 n_k), [s] \tag{14}$$

gdzie n_k - liczba torów kierunkowych.

Wzór (14) jest zaproponowany przy założeniu jednakowego prawdopodobieństwa jazdy wagonów na każdy tor kierunkowy.

Wiedząc, że średnia liczba przełożeń zwrotnic na jeden odprzęg wynosi 1,3 [1], a czas sterowania $t_s = 1$ s, możemy obliczyć czas t_{sz}:

$$t_{sz} = 1{,}3 t_s \quad [s] \tag{15}$$

Czas T_{ho} można wyliczyć ze zmodyfikowanego wzoru podanego w pracy [1]:

$$T_{ho} = 0{,}179 + 0{,}079 \log_2 n_{po} \cdot \frac{n_k}{8}, \text{ [s]} \tag{16}$$

gdzie: n_{po} - liczba przycisków prędkości hamulca odstępowego.

Wzór (16) jest zaproponowany przy założeniu jednakowego prawdopodobieństwa naciśnięcia przycisków prędkości hamulca odstępowego.

Czas t_{sho} jest równy czasowi sterowania t_s:

$$t_{sho} = t_s \quad \text{[s]} \tag{17}$$

Podobnie

$$t_{shd} = t_s \quad \text{[s]} \tag{18}$$

Czas T_{hd} można wyliczyć ze zmodyfikowanego wzoru podanego w pracy [1]:

$$T_{hd} = 0{,}179 + 0{,}079 \log_2 n_{pd} \cdot n_w, \text{ [s]} \tag{19}$$

gdzie:

n_{pd} - liczba przycisków prędkości hamulca docelowego,

n_w - liczba alternatywnych dekametrów wolnej długości toru kierunkowego.

Wzór (19) jest zaproponowany przy założeniu jednakowego prawdopodobieństwa naciśnięcia przycisków prędkości hamulca docelowego i jednakowego prawdopodobieństwa wolnej długości toru kierunkowego. Możemy teraz napisać wzory na całkowity czas długości odprzęgu:

- przy pracy w systemie ręcznym:

$$1/\mu = 1/\mu_z + 1/\mu_{ho} + 1/\mu_{hd}, \text{ [s]} \tag{20}$$

$$1/\mu = 0{,}179 + 0{,}079 \log_2 (n_k \log_2 n_k) + 1{,}3 t_s + 0{,}179 + 0{,}079 \log_2 n_{po} \frac{n_k}{8} + t_s + 0{,}179 + 0{,}079 \log_2 n_{pd} n_w + t_s$$

[s] (21)

- przy pracy w systemie półautomatycznym:

$$1/\mu = 0{,}179 + 0{,}079 \log_2 (n_k \log_2 n_k) + 0{,}179 + 0{,}079 \log_2 n_{po} \frac{n_k}{8} + t_s + 0{,}179 + 0{,}079 \log_2 n_{pd} n_w + t_s, \text{ [s]} \tag{22}$$

- przy pracy w systemie automatycznym:

$$1/\mu = 0{,}179 + 0{,}079 \log_2 (n_k \log_2 n_k) + 0{,}179 + 0{,}079 \log_2 n_{po} \frac{n_k}{8} + 0{,}179 + 0{,}079 \log_2 n_{pd} n_w, \text{ [s]} \tag{23}$$

Intensywność zgłoszeń odprzęgów można wyliczyć ze wzoru:

$$\lambda = \frac{V_o}{l_w}, \text{ [1/s]} \tag{24}$$

gdzie:

V_o - prędkość spychania wagonów z górki rozrządowej [m/s],

l_w - średnia długość odprzęgu [m/s].

Mając czas obsługi $1/\mu$ oraz intensywność zgłoszeń λ, można obliczyć intensywność ruchu $\rho = \lambda/\mu$ oraz średnie długości kolejki i średni czas oczekiwania w kolejce odprzęgów do obsługi ich przez operatora wzorów (2) i (3).

Proces rozrządzania przebiega bezpiecznie, gdy średnia długość kolejki odprzęgów do obsługi ich przez operatora nie przekracza 1, czyli odprzęgi nie doganiają się w czasie obsługi. Można to przedstawić za pomocą nierówności:

$$\frac{\rho^2}{2(1-\rho)} < 1 \tag{25}$$

Proces rozrządzania przebiega bezpiecznie, gdy średni czas oczekiwania odprzęgów w kolejce nie przekracza czasu co jaki pojawiają się odprzęgi na wierzchołku grawitacyjnego systemu rozrządowego. Można to przedstawić za pomocą nierówności:

$$\frac{\rho}{2\mu(1-\rho)} < \frac{l_w}{V_o} \text{ [s]} \tag{26}$$

Zarówno nierówność (25) jak i (26) można sprowadzić do takiej samej nierówności, a mianowicie:

$$V_o^2 + 2V_o l_w \mu - 2l_w^2 \mu^2 < 0 \text{ [m}^2\text{/s}^2\text{]} \tag{27}$$

Rozwiązanie tej nierówności jest następujące:

$$0 < V_o < 0{,}73 l_w \cdot \mu \text{ [m/s]} \tag{28}$$

Przekształcając nierówność (28), możemy stwierdzić, że operator nie nadąży poprawnie sterować grawitacyjnym systemem rozrządowym, gdy

$$l_w < \frac{V_o}{0{,}73} \cdot \frac{1}{\mu} \text{ [m]} \tag{29}$$

Można przyjąć, że długość odprzęgu wagonowego jest zmienną losową o rozkładzie normalnym:

$$N(l_w, \delta),$$

gdzie:

$l_w = 14{,}04$ m,

$\delta = 1{,}7$ m.

Dla stałej prędkości napychania składu V_o można więc obliczyć prawdopodobieństwo błędnego sterowania grawitacyjnym systemem rozrządowym, wynikające z niedoskonałości manualnych operatora:

$$p = P\left(l_w < \frac{V_o}{0{,}73} \cdot \frac{1}{\mu}\right) \tag{30}$$

4. WNIOSKI

W celu obliczenia interesujących nas prawdopodobieństw skorzystano z dystrybuanty rozkładu zmiennej standaryzowanej z.

Obliczenia przeprowadzono dla 32 torów kierunkowych dla $V_0 = 1{,}4$ m/s; $V_0 = 0{,}8$ m/s.

Prawdopodobieństwo błędnej pracy operatora wynosi przy $V_0 = 1{,}4$ m/s:

- dla ręcznego poziomu sterowania:

$$p_r = 0{,}04$$

- dla półautomatycznego poziomu sterowania:

$$p_p = 0{,}0004$$

- dla automatycznego poziomu sterowania:

$$p_a = 0{,}0001.$$

Natomiast przy prędkości $V_0 = 0{,}8$ m/s odpowiednio:

$$p_r = 0{,}0001, \quad p_p = 0{,}00008, \quad p_a = 0{,}00001.$$

Z obliczeń wynika, że przy prędkości napychania wagonów $V_0 = 1{,}4$ m/s powinno pracować dwóch operatorów.

Jeden operator może poprawnie sterować grawitacyjnym systemem rozrządowym po ograniczeniu prędkości napychania składu wagonów do $V_0 = 0{,}8$ m/s.

Literatura

1. Cieślakowski St. J.: System eratyczny a bezpieczeństwo pracy zautomatyzowanej stacji rozrządowej. Zagadnienia Transportu PAN. 1/2 – 3/4 , 1989, s. 189-199.
2. Cieślakowski St. J.: Badanie obciążenia manualnego operatora ASR z wykorzystaniem symulacji staczania wagonów z górki rozrządowej. Konferencja TRANSCOMP. Zakopane, grudzień 2000, s. 71-76.

Recenzent: Prof. dr hab. Aleksander Sładkowski

Abstract

The oryginal conception of the ergonomical diagnostic of the work of the operator of rail brakes of gravitation marshalling system and the results of its sample realization are presented in this article.

As the research method, the queueing theory was used.

The results of the research demonstrate that in the 32-track gravitation marshalling system, the control should be operated by two operators at the pushing speed of carriages $V_0 = 1{,}4$ m/s and by one operator at $V_0 = 0{,}8$ m/s.