

Stanisław Janusz CIEŚLAKOWSKI<sup>1</sup>

### **ZAGROŻENIE BEZPIECZEŃSTWA WAGONÓW KOLEJOWYCH BŁĘDNYM DZIAŁANIEM OPERATORA AUTOMATYCZNEGO SYSTEMU ROZRZĄDZANIA (ASR)**

*W pracy obliczono prawdopodobieństwo popełnienia błędu przez operatora automatycznego systemu rozrządzenia (ASR). Obliczono również niezawodność pracy dwuosobowego zespołu operatorów. W badaniach wykorzystano m.in. metodę TESEO.*

### **SAFETY RISK TO RAIL CARRIAGES FROM ERRORS OF OPERATORS OF AUTOMATIC MARSHALLING SYSTEM (ASR)**

*Likelihood of an ASR operator committing an error is computed. Reliability of two-member operator team is also calculated. TESEO method, among others, is applied to the research.*

#### **1. WSTĘP**

Stacja rozrządowa czy manewrowa to element infrastruktury linii kolejowej, przewidziany do realizacji procesu przerobienia (przetwarzania) przyjeżdżającego pociągu i utworzenie pociągu odjeżdżającego ze stacji zawierającego odpowiednie wagony. Górką rozrządową to serce i sens istnienia tej stacji, decydujący o sprawności jej działania. Górką rozrządową może spełniać swoje funkcję prawidłowo tylko wtedy, gdy proces rozrządzenia jest zorganizowany właściwie przy optymalnym wykorzystaniu posiadanych środków technicznych i ich dostępności.

Proces rozrządzenia można podzielić na dwa obszary funkcjonalne. Pierwszy to sortowanie wagonów na odpowiednie tory relacyjne (kierunkowe), drugi to bezpieczne sterowanie prędkością (sprowadzenie i doprowadzenie) grupy wagonów - odpręgów na właściwe miejsce na torze kierunkowym. Tory i rozjazdy na górcie rozrządowej to niezbędna infrastruktura podstawowa dla zrealizowania procesu rozrządzenia. Średnio w roku przez górkę rozrządową na PKP rozrządza się około 4 500 000 wagonów.

O negatywnych skutkach rozrządzenia może świadczyć wielkość strat ponoszonych w wyniku kolizji wagonów i rozbijania ładunków spowodowanych przez systemy rozrządzenia grawitacyjnego.

Straty te szacuje się na PKP w skali roku na ok. 100 mln złotych.

---

<sup>1</sup> Politechnika Radomska, Wydział Transportu i Elektrotechniki; 26-600 Radom, ul. Malczewskiego 29.  
Tel. +48 48 361 77 23

Systemy rozrządzenia grawitacyjnego mogą być przyczyną zagrożeń bezpieczeństwa nie tylko wagonów i ładunków, ale również ludzi pracujących na stacjach rozrządowych, manewrowych i zakładowych.

Stacje rozrządowe, manewrowe i zakładowe stanowią podstawowe ogniwo w organizacji przewozów ładunków.

Organizacja przewozów niemasowych opracowana przez PKP CARGO S.A. opiera się na 121 stacjach manewrowych w tym 10 rozrządowych.

Tak więc bezpieczeństwo całego transportu kolejowego w dużej mierze zależy od bezpiecznego działania stacji rozrządowych, manewrowych i zakładowych, których niewalcznymi systemami są systemy rozrządzenia grawitacyjnego.

W pracy przeanalizowano niezawodność pracy operatora automatycznego systemu rozrządzenia (ASR).

## 2. SFORMUŁOWANIE PROBLEMU

Praca operatora hamulców torowych polega na obsłudze zintegrowanego pulpitu EAB-3. Pulpit ten przeznaczony jest do centralnego sterowania pracą urządzeń automatycznego systemu rozrządzenia wagonów w grawitacyjnych systemach rozrządowych

i łączy w sobie funkcje nastawiania zwrotnic w strefie podziałowej oraz funkcje regulacji prędkości odpręgów. Pulpit EAB-3 zawiera elementy sygnalizacyjno-manipulacyjne następujących urządzeń systemów: nastawiania zwrotnic (SNZ-2), układów kontroli zajętości odcinków izolowanych zwrotnicowych, ręcznego i automatycznego sterowania hamulcami torowymi odstępowymi i docelowymi (SHT1, ETH-1), sterowania systemem elektrohydraulicznego napędu, hamulców torowych (SHN-1), systemu pomiaru długości torów

kierunkowych (SKT-1), systemem automatycznego sterowania hamulcami docelowymi (SHD-1), mikrokomputerowego systemu SNZ-3 sterowania zwrotnicami i hamulcami odstępowymi.

W obsłudze pulpitu można wyróżnić trzy poziomy sterowania:

- ręczny,
- półautomatyczny,
- i automatyczny.

Ręczne sterowanie polega na indywidualnej obsłudze przez operatora przycisków zwrotnicznych i ręcznym zadawaniu żądanych prędkości wyjazdu odpręgów z hamulców torowych. Sterowanie półautomatyczne polega na automatycznym sterowaniu zwrotnic i ręcznym zadawaniu żądanych prędkości wyjazdu odpręgów 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 przy obsłudze pulpitu jest połączenie funkcji operatora hamulców torowych i nastawniczego zwrotnic strefy podziałowej w kompetencjach jednej osoby zwanej operatorem.

Wyboru zadanej prędkości wyjazdu odpręgu z hamulca operator pulpitu zintegrowanego dokonuje na podstawie oceny własności tocznych tego odpręgu i sytuacji na górze rozrządowej oraz informacji o stanie zajętości torów kierunkowych. Jakość pracy przy zastosowaniu sposobu półautomatycznego regulowania prędkości zależy głównie od doświadczenia operatora pulpitu zintegrowanego. Niewielkie oddalenie hamulców odstępowych od nastawni rozrządowej umożliwia operatorowi pulpitu zintegrowanego

bardzo poprawne regulowanie odstępów między kolejnymi odpręgami, a ponadto umożliwia natychmiastowe skuteczne reagowanie w sytuacjach trudnych lub wręcz niebezpiecznych, takich jak: ponowne rozdzielanie odpręgów uznanych za dopędzone, starcia boczne odpręgów w ukresach zwrotnic i groźne zderzenia odpręgów przed hamulcami kierunkowymi. Wprowadzenie automatycznego hamowania odstępowego odciąża operatora od konieczności obsługi tasterów hamulców odstępowych, lecz nie zwalnia od interwencji w sytuacjach trudnych i niebezpiecznych.

Duże oddalenie hamulców kierunkowych od nastawni rozrządowej oraz słaba widoczność stopnia wypełnienia torów kierunkowych poważnie utrudniają operatorowi realizację półautomatycznego hamowania docelowego, a więc maksymalnego wypełnienia torów przy zachowaniu dopuszczalnych prędkości w momencie zderzenia się odpręgów.

Widać stąd, że błędne działanie operatora może spowodować zagrożenie bezpieczeństwa wagonów.

Interesujące byłoby obliczenie niezawodności pracy operatora. Badania takie nie były dotąd prowadzone.

Jest to bardzo istotne, gdyż koszt naprawy uszkodzonego wagonu wynosi około 15.000 zł.

### 3. METODA BADAŃ I WYNIKI

Geneza badań nad niezawodnością człowieka tkwi w obserwacji faktów drastycznej jego zawodności lub zawodności układów, w których człowiek jest jednym z ważnych ogniw. Twórcy złożonych układów sterowania oraz psychologowie uświadomili sobie w pewnym momencie, że obliczając niezawodność układu technicznego nie można pomijać niezawodności człowieka, tzn. właściwości jego zachowania się, jego możliwości i ograniczeń, cech, które stawiają go znacznie wyżej od maszyny, i cech, pod względem których nie dorównuje on maszynie.

Możliwości badań nad niezawodnością człowieka, z jednej strony, są uwarunkowane tradycją ukształtowaną w trakcie badań nad błędami jako przyczynami urazów oraz błędami jako skutkami nieprawidłowej konstrukcji obiektów technicznych, z którymi człowiek ma do czynienia, z drugiej zaś – postępem w dziedzinie badań psychologicznych.

Cechą współczesnej filozofii systemów ergatycznych (człowiek - obiekt techniczny) jest uznanie centralnej roli człowieka (operatora) w systemie.

Badania przeprowadzone przez Millera wskazują, że człowiek pracujący w warunkach rosnącego obciążenia (work load) popełnia wiele błędów i stosuje pewne techniki przystosowawcze, które tworzą następującą hierarchię:

- pomijanie sygnałów (opuszczanie, omission),
- zniekształcenie sygnałów (błędne rozpoznanie powodujące nieadekwatną reakcję),
- zahamowanie (queueing); człowiek nie zdąża z odpowiedzią na sygnał w chwili jego odbioru i reaguje na sygnał z pewnym opóźnieniem,
- filtrowanie (filtering) strumienia informacji,
- aproksymowanie (approximation), zmniejszenie zakresu różnicowania i rozpoznawania sygnałów,
- technika zwielokrotnienia kanałów (using multiple channels); wzrost tempa pracy aktywizuje działania tych analizatorów, które do tej pory nie brały udziału w odbiorze i przetwarzaniu informacji,
- rezygnacja z wykonania postawionego zadania.

Metoda TESEO (wł. *Tecnica Empirica Stima Errori Operatori*) została zaproponowana przez Bello i Colombari w 1980 roku. Jest to metoda w pewnym sensie empiryczna. Model probabilistyczny został przyjęty głównie na podstawie studiów literaturowych. Model ten przeznaczony jest w zasadzie do szacowania prawdopodobieństw błędów operatora, który został przywołany do wykonania określonego zadania w sterowni obiektu przemysłowego.

W modelu techniki TESEO przyjęto, że prawdopodobieństwo błędu operatora zależy od pięciu czynników określanych ilościowo na podstawie zawartości odpowiedniej tablicy: typu podjętego działania ( $K_1$ )

czasu dostępnego na przeprowadzenie tego działania; czynnik ten nazwano tymczasowym czynnikiem stresu ( $K_2$ )

charakterystyki (przygotowania) człowieka -operatora ( $K_3$ )

stanu emocjonalnego operatora, nazwanego czynnikiem obawy w działaniu ( $K_4$ )

charakterystyki ergonomicznej środowiska, nazwanej czynnikiem ergonomicznym działania ( $K_5$ )

Prawdopodobieństwo błędu człowieka (PBC) wyznacza się na podstawie wzoru:

$$PBC = Q = K_1 K_2 K_3 K_4 K_5 \quad (1)$$

*Zalety metody TESEO:*

- technika jest prosta w stosowaniu i umożliwia szybkie przeprowadzenie analizy,
- zapewnia prostą analizę wrażliwości, to jest badanie wpływu zmian czynników na prawdopodobieństwo błędu człowieka,
- oceny porównawcze oszacowań PBC za pomocą tej techniki wskazują na dość dobrą zgodność z wynikami uzyskanymi za pomocą innych metod.

*Wady metody TESEO:*

- brak jest opublikowanych podstaw teoretycznych metody i danych uwzględnionych podczas opracowania modelu,
- przyjęto, że w każdym przypadku analizy wystarczy uwzględnić pięć czynników, co jest dyskusyjne (nie podano uzasadnienia dla takiego modelu),
- można kwestionować przyjęte założenie o mnożeniu współczynników określających czynniki wpływające na prawdopodobieństwo błędu człowieka (założenie liniowości modelu).

Mimo tych wad technika TESEO dzięki swej prostocie była stosowana w licznych analizach ryzyka obiektów przemysłowych, w tym obiektów chemicznych w USA.

Dla stanowiska pracy operatora ASR przyjęto następujące wartości czynników:

- $K_1 = 0,01$  (działanie wymaga uwagi i jest powtarzalne),
- $K_2 = 0,5$  (dostępny czas 1 l-20s),
- $K_3 = 0,5$  (staranna selekcja, dobre wykształcenie),
- $K_4 = 2$  (występuje potencjalne zagrożenie),
- $K_5 = 1$  (czynniki środowiska i warunki ergonomiczne są dobre).

Wynika stąd, że szacunkowe prawdopodobieństwo błędu operatora ASR wynosi około 0,005.

Wynika stąd, że niezawodność pracy jednego operatora wynosi:

$$R_1 = 1 - 0,005 = 0,995 \quad (2)$$

Natomiast niezawodność pracy zespołu dwuosobowego operatorów wynosi:

$$R_2 = 1 - (1 - R_1)^2 \quad (3)$$

#### 4. WNIOSKI

Z przeprowadzonych badań wynikają następujące wnioski:

1. Niezawodność pracy operatora wynosi 0,995.

2. Niezawodność pracy zespołu dwuosobowego operatorów wynosi 0,999975.
3. Często zdarza się, że dostępny czas w pracy operatora osiąga wartości mniejsze lub równe 10s i wówczas  $K_2 = 1$ , co powoduje podwojenie prawdopodobieństwa błędu operatora. Wynosi ono wówczas nie 0,005, lecz 0,01. Ma to miejsce, gdy na górcie pojawiają się wagony węglarki budowy specjalne rodzaju F.

**BIBLIOGRAFIA**

- [1] Bello G.C., Colombari V.: *The Human Factors in Risk Analyses of Process Plants: The Control Room Operator Model TESEO*. Reliability Engineering 1/1980.
- [2] Cieślakowski St.J.: *System ergatyczny a bezpieczeństwo pracy zautomatyzowanej stacji rozrządowej*. Zagadnienia Transportu. PAN 1/2./1989.
- [3] Cieślakowski St.J.: *Niezawodność człowieka-operatora na stanowiskach pracy związanych z bezpieczeństwem ruchu kolejowego*. ZEM.Z1/97/1994.
- [4] Miller I.C.: *Information Input Overload Psychopathology*. Amer. J. Psychiatry. Vol. 116. No. 8/1960.
- [5] Ratajczak Z.: *Niezawodność człowieka w pracy*. Warszawa, PWN 1988.