ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 2005
Seria: TRANSPORT z. 58 Nr kol. 1688

Mieczysław KORNASZEWSKI[1]

ZASTOSOWANIE MODELOWANIA KOMPUTEROWEGO DO OPISU PROCESU EKSPLOATACYJNEGO SYSTEMU AUTOMATYKI PRZEJAZDOWEJ

Streszczenie. W referacie przedstawiono zagadnienia dotyczące komputerowego Modelowania procesu eksploatacji systemu automatyki przejazdowej z zastosowaniem technik symulacyjnych. Modelowanie to pozwoli na przeprowadzenie analizy wzajemnych związków między zadaniami, wyposażeniem i organizacją działania systemów automatyki przejazdowej. Kształtowanie procesu eksploatacji uwzględnia badania niezawodności systemu w naturalnych warunkach użytkowania i odnowy.

APPLICATION OF COMPUER MODELING TO THE DESCRIPTION OF MAINTENANCE PROCESS OF THE SYSTEM OF AUTOMATIC OF THE LEVEL CROSSING

Summary. The main topic of the paper is computer modeling of maintenance process of the system of the automatic of the level crossing with the use of simulation technique. Modeling allows to perform the analysis of the mutual concatenation between tasks-equipment and organization of operation of the system of the automatic of the level crossing. Shaping of maintenance process takes into account reliability investigation being performed in actual maintenance conditions.

1. WPROWADZENIE

W referacie analizowany jest system automatyki przejazdowej, przez który należy rozumieć techniczne środki realizacji funkcji sterowania przejazdami kolejowymi w procesie przemieszczania pojazdów szynowych wraz z metodami i środkami ich utrzymania.

Rezultaty modelowania komputerowego procesu eksploatacji systemu automatyki przejazdowej mogą mieć znaczenie nie tylko jako podstawa do doskonalenia konstrukcji urządzeń i doskonalenia procesu produkcyjnego, ale również jako jedna z możliwości uzyskania wiarygodnych informacji, niezbędnych do sterowania procesem eksploatacji, właściwej organizacji zaplecza naprawczego oraz przewidywania kosztów eksploatacji.

2. PROCES EKSPLOATACYJNY SYSTEMU AUTOMATYKI PRZEJAZDOWEJ

Przez termin eksploatacji urządzeń automatyki przejazdowej należy rozumieć całokształt czynności, jakie należy wykonać od momentu ich wyprodukowania, aby utrzymać

[1] Wydział Transportu, Politechnika Radomska, ul. Malczewskiego 29, 26-600 Radom, tel. (+48 48) 361 77 84, mkornasz@pr.radom.net

je w ciągłej gotowości do pracy przez możliwie długi czas. Czynności te mają na celu zapewnienie jak największej niezawodności urządzenia oraz zabezpieczenie odpowiedniej obsługi. [4]

Proces eksploatacyjny obejmuje:

1. Proces użytkowania urządzeń (PU) – faza procesu eksploatacyjnego, w której system automatyki przejazdowej realizuje swoje funkcje lub jest gotowy do ich realizacji.
2. Proces odnowy (PO) - faza procesu eksploatacyjnego polegająca na utrzymaniu i odtwarzaniu stanu zdatności funkcjonalnej systemu automatyki przejazdowej.
3. Proces decyzyjny (PD) - faza procesu eksploatacyjnego polegająca na oddziaływaniu w taki sposób na procesy PU i PO, aby uwzględniały one nadrzędne cele systemu transportowego.

Procesy te można określić dokładniej na podstawie ich podprocesów, tzn.:

PU = <PR, PW>,

gdzie: PR - proces ruchowy wyznaczony przez natężenie ruchu (iloczyn pojazdów drogowych i kolejowych przejeżdżających przez skrzyżowanie w ciągu 24 godzin) i topologię przejazdu kolejowego,

PW - proces wykonawczy, rozumiany jako wpływ systemu automatyki przejazdowej na natężenie ruchu

PO = <POB, PTN>,

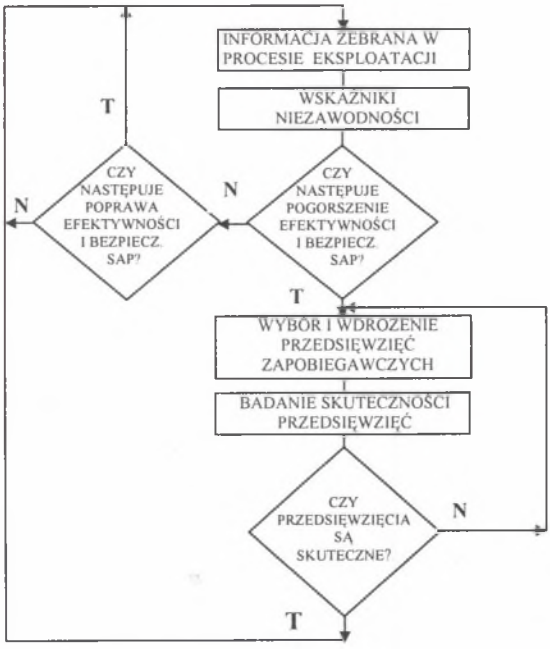
gdzie: POB - proces obsługi urządzeń automatyki przejazdowej (polegający na utrzymaniu ich w gotowości funkcjonalnej),

PTN - proces technologii napraw (zbiór niezbędnych technologii napraw)

PD = <PDU, PDO>,

gdzie: PDU - proces generujący decyzje dla procesu użytkowania (PU),

PDO - proces generujący decyzje dla procesu odnowy (PO).



Rys. 1. Algorytm sterowania procesem eksploatacji systemu automatyki przejazdowej

Fig. 1. The algorithm of steering the process of exploitation of system of automatic of the level crossing

W ogólnym zarysie sterowanie procesem eksploatacji systemu automatyki przejazdowej może być przeprowadzone wg algorytmu z rys. 1 [4].

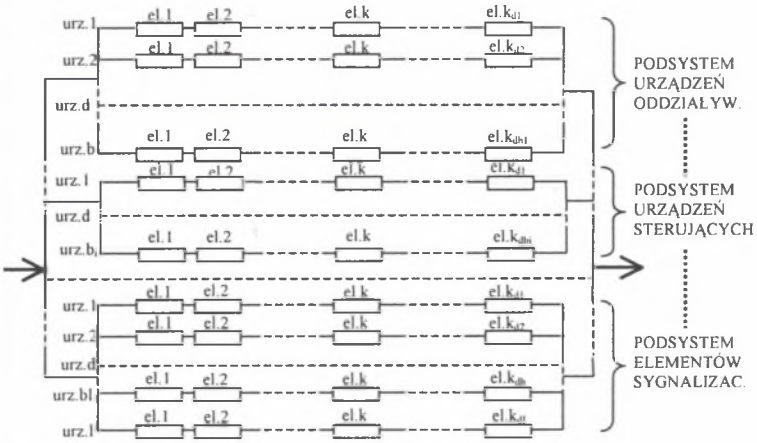
Na podstawie informacji uzyskanych w procesie eksploatacji dokonywana jest ocena wskaźników niezawodności systemu automatyki przejazdowej. Przeprowadzane jest badanie tendencji zmian wyznaczonych wskaźników. Jeżeli wykazują one tendencje dodatnie (wzrost bezpieczeństwa, efektywności itp.), dokonuje się popularyzacji przyczyn tych zmian. W przypadku niewystąpienia żadnych tendencji zmian, nie wykonuje się dodatkowych przedsięwzięć eksploatacyjnych, natomiast w przypadku tendencji negatywnych (wzrost liczby uszkodzeń, zmniejszenie się bezpieczeństwa, efektywności itp.) podejmowane są odpowiednie kroki zapobiegające tym zmianom.

3. MODEL NIEZAWODNOŚCIOWY

System automatyki przejazdowej należy do grupy systemów niezawodnościowych prostych i ma strukturę równoległo-szeregową, tzn. równoległą dla podsystemów, układów i urządzeń, zaś szeregową dla elementów wchodzących w skład poszczególnych urządzeń, zgodną z rys. 2. W modelu systemu o takiej strukturze zakłada się, że system działa poprawnie nawet wtedy, kiedy funkcjonuje jeden z podsystemów o strukturze szeregowej. Funkcja niezawodności R(t) systemu o strukturze równoległo-szeregowej jest opisana zależnością [4]:

$$R(t) = 1 - \prod_{i=1}^{m}\left[1 - \left(\prod_{j=1}^{n} r_{ij}(t)\right)\right], \tag{1}$$

gdzie $r_{ij}(t)$ – funkcja niezawodności j-tego elementu szeregowego w i-tym systemie równoległym dla i = 1, 2, ..., m ; j = 1, 2,..., n



Rys. 2. Schemat struktury niezawodności systemu automatyki przejazdowej
Fig. 2. The block diagram of structure of reliability of system of automatic of the level crossing

4. MODEL MATEMATYCZNY

Do zbudowania modelu systemu automatyki przejazdowej należy przyjąć następujące założenia [1, 2]:

- system automatyki przejazdowej zostaje przedstawiony za pomocą rozłącznych podsystemów S_i dla i = 1, 2, ..., I;
- w każdym z podsystemów jest określona liczba urządzeń systemu automatyki przejazdowej – b_i (i = 1, 2, ..., I);
- zbiór elementów składowych, z których zbudowane są urządzenia automatyki przejazdowej, zostaje przedstawiony za pomocą wektorów (w zapisie binarnym):

$$\alpha_{i,d} = [\alpha_{i,d,1}, \alpha_{i,d,2}, ..., \alpha_{i,d,kdi}],$$

gdzie k_{di} – liczba elementów w d-tym urządzeniu i-tego podsystemu.

Z powyższych założeń wynika, że system S, którego elementami są urządzenia systemu automatyki przejazdowej, działający na określonym obszarze, można przedstawić poprzez rozłączne podsystemy S_i spełniające warunki [3]:

$$\begin{cases} \bigcup_{i=1}^{I} S_i = S & (2) \\ \bigcap_{i=1}^{I} S_i = \emptyset, & (3) \end{cases}$$

gdzie: S – system automatyki przejazdowej,
S_i – podsystemy automatyki przejazdowej,
I – liczba wyróżnionych podsystemów.

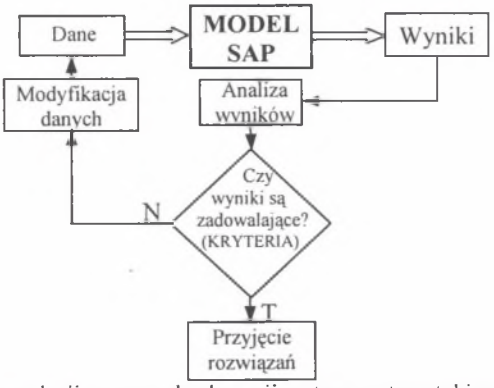
Zgodnie z przyjętymi założeniami i na podstawie zależności (2) i (3) należy rozważać układy zmiennych losowych, które charakteryzują parametry niezawodnościowe poszczególnych podsystemów. Przyjmując, że znane są dystrybuanty zmiennych losowych $F_{i,d,k}(t)$ pojedynczych elementów, układy czasów poprawnej pracy i czasów uszkodzeń elementów można zastąpić układami odpowiadających im dystrybuant.

5. MODEL SYMULACYJNY

Tworzenie systemów symulujących działanie rzeczywistych systemów jest obecnie głównym motywem rozwoju badań modeli obiektów sterowania ruchem kolejowym. Modele te pozwalają na studiowanie wzajemnych związków między zadaniami, wyposażeniem i organizacją działania z dokładnością porównywalną z obserwowanym rzeczywistym obiektem (przy wykorzystaniu nowoczesnych technik komputerowych).

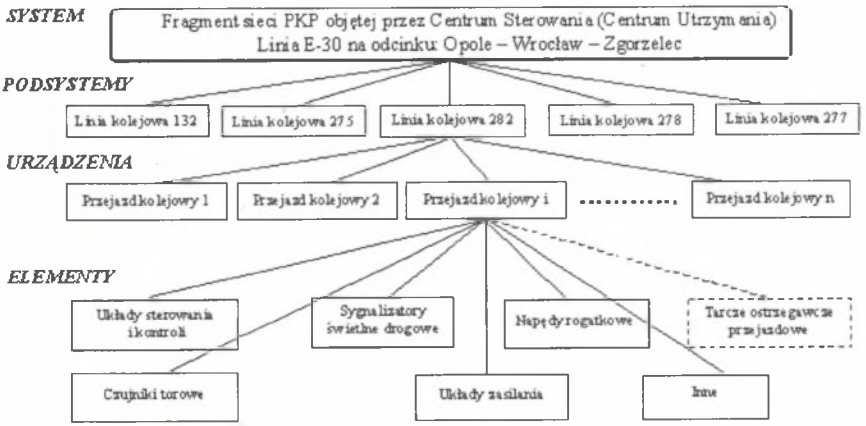
Współczesne modele symulacji opierają się na skomplikowanych modelach formalnych. Modele te uwzględniają znaczne ilości czynników, odzwierciedlają złożone związki strukturalne i sprzężenia wewnętrzne oraz składają się z ogromnej ilości elementów. Istotną cechą metody symulacyjnej jest dokonywanie wielokrotnych prób (eksperymentów) z badanym modelem w celu uzyskania danych pozwalających na materialne odwzorowanie ciągów stanów badanych modeli.

Uwzględniając model procesu eksploatacji symulacji systemu automatyki przejazdowej z rys. 3, można wykonać następujące eksperymenty [1,2]:
- ocenić przebieg procesu eksploatacji, pozwalający na dobór niezbędnych środków do zadań lub odwrotnie,
- zbadać niezawodność procesu eksploatacji, umożliwiającą wyznaczenie wskaźników wartościująco-normatywnych określających działanie automatyki przejazdowej, przy ustalonych zadaniach i przyjętym wyposażeniu,
- podjąć odpowiednie decyzje eksploatacyjne, dotyczące wyboru środków i metod utrzymania urządzeń należących do systemu automatyki przejazdowej.



Rys. 3. Ogólny model symulacji procesu eksploatacji systemu automatyki przejazdowej
Fig. 3. General model of simulation of process of automatic of the level crossing

W modelu systemu automatyki przejazdowej (rys. 4) przyjęto 1 typ urządzeń, tj. przejazd kolejowy oraz 6 typów elementów: układy sterowania i kontroli, czujniki torowe, sygnalizatory świetlne drogowe, napędy rogatkowe, układy zasilania i ochrony przeciwprzepięciowej, inne (np. układy pośredniczące, kable przesyłające sygnały, sieć transmisyjna itp.) [1,2].



Rys. 4. Struktura modelu symulacyjnego systemu automatyki przejazdowej
Fig. 4. Structure of the simulation model of system of automatic of the level crossing

System automatyki przejazdowej jest systemem 4-poziomowym o strukturze rozproszonej z hierarchicznym sterowaniem. Model symulacyjny uwzględnia relacje między poziomami systemu, podsystemów, urządzeń i elementów. Ponieważ z każdym elementem związanych jest po kilka technologii napraw, w związku z tym strukturę modelu można rozwinąć o dodatkowy poziom technologii napraw, który stanowi jednocześnie podstawowy poziom decyzyjny dotyczący wyboru technologii naprawy uszkodzonego elementu.

6. KOMPUTEROWY SYSTEM OCENY NIEZAWODNOŚCI SNOP

Proces symulacji został ujęty w pakiet procedur odpowiadających pojedynczym lub połączonym krokom algorytmu symulacji. W procesie symulacji zastosowano generator liczb losowych i wielokrotnie wykorzystano procedurę losowania nowych wartości wg zidentyfikowanych wcześniej rozkładów prawdopodobieństw tych wielkości. Zastosowany model symulacyjny oparty jest na metodzie „kolejnych zdarzeń".

W zastosowanym modelu wstępnie zostały postawione hipotezy statystyczne dotyczące nieznanych wartości parametrów rozkładów czasów trwania uszkodzeń i poprawnej pracy każdego elementu w każdym urządzeniu i w każdym podsystemie oraz rozkładów liczby uszkodzeń w poszczególnych podsystemach i urządzeniach systemu automatyki przejazdowej oraz nieznanego ich typu (kształtu).

Rozkłady liczby uszkodzeń w poszczególnych podsystemach oraz rozkłady liczby uszkodzeń w wyróżnionych elementach systemu automatyki przejazdowej obliczone zostały z zależności:

$$p_i = \frac{n_i}{n} \quad \text{dla } i = 1, 2, ..., k, \tag{4}$$

gdzie: n_i – liczba zdarzeń wyróżnionych w i-tym podsystemie (lub elemencie),
n – liczność próby.

W przypadku wyznaczania rozkładów czasów trwania uszkodzeń i poprawnej pracy obiektów badanego systemu posłużono się następującym schematem:

1) Próbę podzielono na k przedziałów o długości Δt każdy, zgodnie ze wzorem:

$$\Delta t = \frac{t_{max} - t_{min}}{k}, \tag{5}$$

gdzie: t_{max} – wartość maksymalna czasu z próby,
t_{min} – wartość minimalna czasu z próby,
k – liczba przedziałów.

2) Przyjęto, że wszystkie przedziały są lewostronnie domknięte, z wyjątkiem przedziału ostatniego (domkniętego obustronnie):

$$< t_{min}; t_{min} + \Delta t), < t_{min} + \Delta t; t_{min} + 2\Delta t), ..., < t_{max} - \Delta t; t_{max} >,$$

3) Wyznaczono liczności n_j występowania wartości t_r w j-tym przedziale (dla $j = 1, 2, ..., k$; $r = 1, 2, ..., n$).

4) Obliczano częstości empiryczne f_j ze wzoru:

$$f_j = \frac{n_j}{n}. \tag{6}$$

5) Wyznaczono wartość średnią z próby na podstawie wzoru:

$$\bar{t} = \frac{1}{2}\sum_{j=1}^{k} t_j^o \cdot n_j, \tag{7}$$

gdzie t_j^o - wartość czasu występująca w środku j-tego przedziału.

6) Obliczono odchylenie standardowe na podstawie wzoru:

$$s = \sqrt{\frac{1}{2}\sum_{j=1}^{k}\left(t_j^o - \bar{t}\right)^2 \cdot n_j} \,. \tag{8}$$

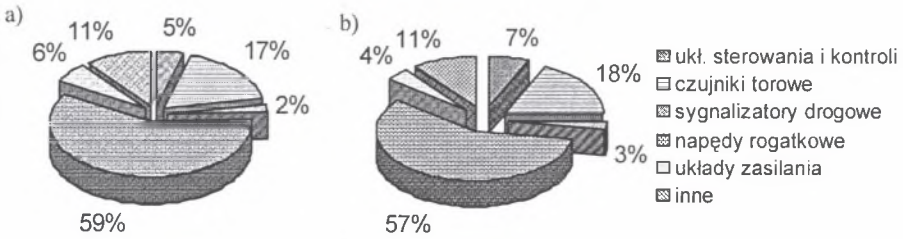
Do weryfikacji zgodności rozkładów empirycznych z najbardziej popularnymi rozkładami stosowanymi w teorii niezawodności: wykładniczym, normalnym i logarytmo-normalnym zastosowano testy λ-Kołmogorowa i Chi-kwadrat, zaś do weryfikacji wartości średnich porównywanych rozkładów zastosowano parametryczny test t-Studenta [1,2,3].

7. WNIOSKI

Podstawowym celem, dla którego przeprowadzono komputerowe modelowanie systemu automatyki przejazdowej, jest możliwość analizy i oceny procesu eksploatacyjnego systemu (jego użytkowania i odnowy), przy zadanym opisie wyposażenia systemu i zadanym opisie repertuaru technologii napraw.

W wyniku przeprowadzonej analizy danych zebranych na rzeczywistym obiekcie uzyskano informacje takie, jak: opis struktury systemu, nazwy występujących w nim obiektów, histogramy liczby uszkodzeń w wyróżnionych obiektach, histogramy czasów trwania uszkodzeń oraz czasów poprawnej pracy urządzeń i elementów, wskaźniki gotowości urządzeń i elementów, informacje o liczbie technologii napraw itp.

W celu pełniejszej analizy i oceny procesu eksploatacji systemów automatyki przejazdowej przeprowadzono weryfikację wyników eksploatacyjnych uzyskanych różnymi sposobami (na podstawie analizy statystycznej i symulacji komputerowej).



Rys. 5. Procentowy udział uszkodzeń elementów systemu automatyki przejazdowej w 2003r. dla a) danych statystycznych, b) danych z symulacji

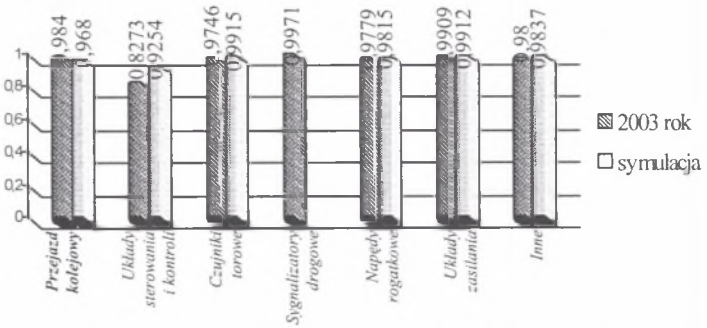
Fig. 5. Percentage schedule of damages of units of system of automatic of the level crossing for: a) given statistical data in 1998 year, b) simulation data

Na rysunku 5 przedstawiono wykresy określające udział uszkodzeń poszczególnych elementów systemu automatyki przejazdowej w 2003r. w ogólnej liczbie uszkodzeń. Wśród wyróżnionych typów elementów najmniej uszkodzeń odnotowano dla sygnalizatorów drogowych (2%), natomiast najwięcej dla napędów rogatkowych (59%).

W analizie procesu eksploatacyjnego urządzeń automatyki przejazdowej należy również uwzględnić średnie czasy trwania uszkodzeń i poprawnej pracy przejazdu kolejowego, a także czasy uszkodzeń i poprawnej pracy jego elementów. Najdłużej w stanie niezdatności przebywają elementy typu inne (kable, układy pośredniczące, itp.) – 24 godz., najkrócej – sygnalizatory drogowe (5,7 godz.). Natomiast wartości średnich czasów poprawnej pracy świadczą o tym, że najdłużej bez awarii pracowały układy zasilania – 2353

godz., tj. nieprzerwanie przez 98 dni, zaś najkrócej układy sterowania i kontroli – przez 95,5 godz. (ok. 4 doby).

Z ujętych na rys. 6 wartości wskaźników gotowości obiektów wyróżnionych w systemie automatyki przejazdowej wynika, iż najbardziej zawodnymi elementami przejazdu kolejowego są układy sterowania i kontroli, zaś najmniej sygnalizatory drogowe. W czasie prowadzenia badań eksploatacyjnych zarejestrowano mało uszkodzeń sygnalizatora drogowego, co było przyczyną tego, że w procesie symulacji generator zdarzeń losowych nie wylosował takich uszkodzeń (ewentualnie 1 lub 2).



Rys. 6. Zestawienie wskaźników gotowości obiektów systemu automatyki przejazdowej
Fig. 6. Schedule of readiness indicator of system of automatic of the level crossing object

Przedstawione wyniki komputerowego modelowania systemów automatyki przejazdowej mogą pokazać, jak przebiega proces eksploatacji systemu na przestrzeni dłuższego czasu, mogą stanowić przydatne narzędzie do oceny systemu w warunkach eksploatacyjnych, umożliwić ocenę poziomu technicznego producenta, być źródłem planowania obsług i napraw urządzeń automatyki przejazdowej, np. mogą pozwolić określić liczbę i częstotliwość przeglądów profilaktycznych, liczbę i rodzaj niezbędnych części zamiennych, globalne koszta eksploatacji itp.

Literatura

1. Dyduch J., Kornaszewski M.: Ocena własności eksploatacyjnych systemów automatyki przejazdowej z zastosowaniem modelu symulacyjnego, IV Konferencja TRANSCOMP, Zakopane 2000.
2. Dyduch J., Kornaszewski M.: Badania eksploatacyjne miarodajnym źródłem informacji o pracy urządzeń systemów automatyki przejazdowej. Prace naukowe PR TRANSPORT NR 1(15), Zakopane 2002.
3. Leszczyński J.: Modelowanie systemów i procesów transportowych. WPW, Warszawa 1999.
4. Ważyńska-Fiok K.: Podstawy teorii eksploatacji i niezawodności systemów transportowych. WPW, Warszawa 1993.