

OCENA EFEKTYWNOŚCI FUNKCJONOWANIA SYSTEMÓW EKSPLOATACJI POJAZDÓW I MASZYN Z WYKORZYSTANIEM PROCESÓW MARKOWA

Stanisław Niziński, Bronisław Kolator

Katedra Eksploatacji Pojazdów i Maszyn, Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie

Streszczenie. Celem pracy było skonstruowanie modelu matematycznego procesu eksploatacji pojazdów i maszyn, w którym kryterium efektywności jest stan techniczny i koszty. Na bazie tych modeli rozpatrzono mierniki oceny eksploatacji pojazdów i maszyn, tzn.: czasu, wartościowe i współczynniki. Zdefiniowano kompleksowy model procesu eksploatacji pojazdów i maszyn.

Słowa kluczowe: model matematyczny, mierniki oceny efektywności, system eksploatacji pojazdów i maszyn

WSTĘP

W systemie eksploatacji pojazdów mechanicznych zachodzą różnorodne procesy, a w tym: użytkowania, diagnozowania, obsługiwanie i zarządzania. Narzędziem doskonalenia funkcjonowania tych systemów są modele procesów eksploatacji, w szczególności modele matematyczne. W pracy przedstawiono model procesu eksploatacji pojazdów, w którym kryterium efektywności jest stan techniczny i koszty. Do opracowania modelu wykorzystano procesy Markowa.

MODEL PROCESU EKSPLOATACJI POJAZDÓW I MASZYN

Graf procesu eksploatacji

Graf procesu eksploatacji przedstawiono na rys. 1. W grafie stan w_e oceny efektywności rozdzielono na dwa stany: w_{e1} – stan oceny jakości funkcjonowania zdalnych pojazdów mechanicznych i stan w_{e2} – oceny obsługiwanie pojazdów niezdatnych.

Obiekty techniczne, które zostały poddane diagnozowaniu (stan w_a) z prawdopodobieństwem p_{14} i p_{15} są kierowane do stanu w^1 zdatności i stanu w^0 niezdatności. Jest to pierwsza selekcja obiektów, w której kryterium oceny efektywności funkcjonowania jest ich stan techniczny.

Fig. 1. A draft of mechanical vehicles exploitation process in which the state of effectiveness evaluation was introduced – costs (symbols in the text

Strumień pierwszy obiektów z prawdopodobieństwem p_{73} jest kierowany do stanów W_0 obsługiwanego. W strumieniu tym znajdują się niezdatne obiekty techniczne, które opłaca się obsługiwać. Strumień drugi dotyczy obiektów niezdatnych, których nie opłaca się obsługiwać. Obiekty te z prawdopodobieństwem p_{71} są kierowane do stanu w_α skąd są odprowadzane poza system eksploatacji urządzeń.

Z przedstawionego opisu wynika jednoznaczność ruchu obiektów technicznych w grafie, na podstawie którego powinny funkcjonować ich system eksploatacji. Z liczby $N = n_{62} + n_{61} + n_{73} + n_{71}$ obiektów znajdujących się w systemie: n_{62} zdalnych urządzeń

jest użytkowanych, n_{61} zdalnych urządzeń nie opłaca się użytkować, n_{73} niezdatnych urządzeń podlega obsłudze, natomiast n_{71} urządzeń niezdatnych nie opłaca się obsługiwać. Poza system eksploatacji należy wyprowadzić $n_w = n_{61} + n_{71}$ obiektów technicznych i uzupełnić nowymi obiektami.

Model dyskretny w stanach i czasie

Graf (rys. 1) można opisać układem równań:

$$\begin{aligned}
 p_1^* &= p_{21}p_2^* + p_{31}p_3^* + p_{61}p_6^* + p_{71}p_7^* \\
 p_2^* &= p_{62}p_6^* \\
 p_3^* &= p_{73}p_7^* \\
 p_4^* &= p_{14}p_1^* \\
 p_5^* &= p_{15}p_1^* \\
 p_6^* &= p_{46}p_4^* \\
 p_7^* &= p_{57}p_5^* \\
 p_1^* + p_2^* + p_3^* + p_4^* + p_5^* + p_6^* + p_7^* &= 1
 \end{aligned} \tag{1}$$

Macierzowy układ równań:

$$\begin{bmatrix} -1 & 1 & 1 & 0 & 0 & p_{61} & p_{71} \\ 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & p_{62} & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & p_{73} \\ p_{14} & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 \\ p_{15} & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & -1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} p_1^* \\ p_2^* \\ p_3^* \\ p_4^* \\ p_5^* \\ p_6^* \\ p_7^* \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} \tag{2}$$

$$A_F \cdot P_F = B_F \tag{3}$$

Rozwiązanie równań (3) określa wzór (4), z którego uzyskuje się wartość prawdopodobieństw $p_1^*, p_2^*, \dots, p_7^*$ granicznych wyróżnionych stanów:

$$P_F = A_F^{-1} \cdot B_F \tag{4}$$

Model dyskretny w stanach i ciągle w czasie

Układ równań stanowiących model, w którym przejścia obiektów charakteryzują intensywności przejść $\lambda_{ij}(t)$ ma postać:

$$\begin{aligned}
& -\lambda_{14}p_1^0 - \lambda_{15}p_1^0 + \lambda_{21}p_2^0 + \lambda_{31}p_3^0 + \lambda_{61}p_6^0 + \lambda_{71}p_7^0 = 0 \\
& -\lambda_{21}p_2^0 + \lambda_{62}p_6^0 = 0 \\
& -\lambda_{31}p_3^0 + \lambda_{73}p_7^0 = 0 \\
& -\lambda_{46}p_4^0 + \lambda_{14}p_1^0 = 0 \\
& -\lambda_{57}p_5^0 + \lambda_{15}p_1^0 = 0 \\
& -\lambda_{62}p_6^0 + \lambda_{46}p_4^0 = 0 \\
& -\lambda_{73}p_7^0 + \lambda_{57}p_5^0 = 0 \\
& p_1^0 + p_2^0 + p_3^0 + p_4^0 + p_5^0 + p_6^0 + p_7^0 = 1
\end{aligned} \tag{5}$$

W zapisie macierzowym układ równań (5) ma postać:

$$\begin{bmatrix}
-\lambda_{14} - \lambda_{15} & \lambda_{21} & \lambda_{31} & 0 & 0 & \lambda_{61} & \lambda_{71} \\
0 & -\lambda_{21} & 0 & 0 & 0 & \lambda_{62} & 0 \\
0 & 0 & -\lambda_{31} & 0 & 0 & 0 & \lambda_{73} \\
\lambda_{14} & 0 & 0 & -\lambda_{46} & 0 & 0 & 0 \\
\lambda_{15} & 0 & 0 & 0 & -\lambda_{57} & 0 & 0 \\
0 & 0 & 0 & \lambda_{46} & 0 & -\lambda_{62} & 0 \\
1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1
\end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} p_1^0 \\ p_2^0 \\ p_3^0 \\ p_4^0 \\ p_5^0 \\ p_6^0 \\ p_7^0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} \tag{6}$$

Rozwiązanie układu równań (6) określa wartość prawdopodobieństw $p_1^0, p_2^0, \dots, p_7^0$ granicznych wyróżnionych stanów:

$$P_G = A_G^{-1} \cdot B_G \tag{7}$$

Model semi-Markowa

Wartości prawdopodobieństw stanów granicznych wynoszą:

$$\begin{aligned}
p_1 &= \frac{p_1^* E(T_1)}{A_\beta}; & p_2 &= \frac{p_2^* E(T_2)}{A_\beta} \\
p_3 &= \frac{p_3^* E(T_3)}{A_\beta}; & p_4 &= \frac{p_4^* E(T_4)}{A_\beta} \\
p_5 &= \frac{p_5^* E(T_5)}{A_\beta}; & p_6 &= \frac{p_6^* E(T_6)}{A_\beta} \\
p_7 &= \frac{p_7^* E(T_7)}{A_\beta}
\end{aligned} \tag{8}$$

gdzie:

$E(T_1), E(T_2)$.– wartości oczekiwane czasów przebywania obiektów w wyróżnionych stanach;

$$A_{\beta} = p_1^* E(T_1) + p_2^* E(T_2) + p_3^* E(T_3) + p_4^* E(T_4) + p_5^* E(T_5) + p_6^* E(T_6) + p_7^* E(T_7).$$

Prawdopodobieństwa graniczne (8) mają interpretację:

- p_1 – współczynnik określający zbiór diagnozowanych obiektów technicznych;
- p_2 – współczynnik określający zbiór zdalnych obiektów technicznych, które opłaca się użytkować;
- p_3 – współczynnik charakteryzujący frakcję niezdatnych obiektów technicznych, które opłaca się obsługiwać;
- p_4 – współczynnik oczekiwania użytkownika charakteryzujący zbiór zdalnych obiektów technicznych oczekujących na ocenę efektywności funkcjonowania;
- p_5 – współczynnik oczekiwania obsługiwanego, charakteryzujący zbiór niezdatnych obiektów technicznych oczekujących na ocenę efektywności obsługiwanego;
- p_6 – współczynnik charakteryzujący zbiór zdalnych obiektów technicznych ocenianych pod względem opłacalności użytkowania;
- p_7 – współczynnik charakteryzujący zbiór niezdatnych obiektów technicznych ocenianych w aspekcie opłacalności obsługiwanego.

MIERNIKI OCENY EKSPLOATACJI POJAZDÓW MECHANICZNYCH

Mierniki czasu

Stanowią one podstawę do oceny efektywności realizowanych procesów eksploatacji i oceny funkcjonowania podsystemów systemu eksploatacji obiektów technicznych. Zalicza się do nich:

- 1) wartość oczekiwaną i odchylenie standardowe czasów przebywania obiektów w wyróżnionych stanach, określone typem rozkładu i wartością jego parametrów;
- 2) sumaryczny czas T_{ip} przebywania pojedynczego obiektu w wyróżnionym stanie:

$$T_{ip} = \sum_{k=1}^K t_{ij} \quad (9)$$

- 3) średni czas $\bar{T}_{ip}$ przebywania pojedynczego obiektu w wyróżnionym stanie:

$$\bar{T}_{ip} = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K t_{ijk} \quad (10)$$

- 4) sumaryczny czas T_{iN} przebywania N obiektów w wyróżnionym stanie:

$$T_{iN} = \sum_{n=1}^N \sum_{k=1}^K t_{ijnk} \quad (11)$$

gdzie:

- $k = 1, K$ – liczba wejść obiektu do stanu i ;
- $i = 1, I$ – liczba wyróżnionych stanów;
- t_{ij} – czas przebywania obiektu w stanie i pod warunkiem, że stanem początkowym był stan j ;
- $n = 1, N$ – liczba obiektów technicznych.

Współczynniki

Grupę współczynników jako charakterystyk procesów Markowa stanowią mierniki decyzyjne sterowania eksploatacją obiektów technicznych i obejmują one:

- 1) prawdopodobieństwa przebywania obiektów w wyróżnionych stanach;
- 2) sumaryczne prawdopodobieństwa przebywania obiektów w kilku wyróżnionych stanach, na przykład współczynnik gotowości technicznej;
- 3) prawdopodobieństwa przejść obiektów pomiędzy wyróżnionymi stanami procesu eksploatacji obiektów technicznych określone za pomocą macierzy prawdopodobieństw przejść.

Mierniki wartościowe

Do mierników wartościowych wyrażonych w postaci pieniężnej i wykorzystywanych w sterowaniu eksploatacją obiektów technicznych zalicza się:

- 1) wartości oczekiwane i odchylenia standardowe dochodów z uzyskanych z przebywania obiektów w wyróżnionych stanach, określone typem rozkładu i wartością jego parametrów;
- 2) jednostkowy dochód d_i (np. zł/godz) wynikający z eksploatacji jednego obiektu przypadający na jednostkę czasu, gdy obiekt ten znajduje się w wyróżnionym stanie;
- 3) sumaryczny dochód D_i uzyskany z eksploatacji pojedynczego obiektu technicznego w przedziale czasu $\langle 0, t \rangle$ w wyróżnionym stanie:

$$D_{ip} = \sum_{k=1}^K t_{ijk} \cdot d_i \quad (12)$$

- 4) jednostkowe koszty c_i (np. zł/h) utrzymania obiektów technicznych w stanie zdolności funkcjonalnej i zadaniowej w wyróżnionych stanach procesu eksploatacji;
- 5) sumaryczne koszty C_i eksploatacji pojedynczego obiektu technicznego w przedziale czasu $\langle 0, t \rangle$ w wyróżnionym stanie:

$$C_{ip} = \sum_{k=1}^K t_{ijk} \cdot c_i \quad (13)$$

- 6) wartości oczekiwane i odchylenia standardowe zysków uzyskane z eksploatacji obiektów w wyróżnionych stanach określone typem rozkładu wartością jego parametrów;
- 7) zysk jednostkowy z_i (np. zł/godz) wynikający z eksploatacji jednego obiektu technicznego, przypadający na jednostkę czasu, gdy obiekt ten znajduje się w wyróżnionym stanie;
- 8) sumaryczny zysk Z_i uzyskany z eksploatacji pojedynczego obiektu technicznego w przedziale czasu $\langle 0, t \rangle$ w wyróżnionym stanie:

$$Z_{ip} = \sum_{k=1}^K t_{ij} \cdot z_i \quad (14)$$

WYKORZYSTANIE MODELI MATEMATYCZNYCH EKSPLOATACJI OBIEKTÓW W PRZEDSIĘBIORSTWIE

Przestrzeganie zasady racjonalnego gospodarowania w przedsiębiorstwie wymaga od decydenta takich narzędzi, które umożliwiłyby mu szybką ocenę podejmowanych decyzji i wybór rozwiązań najbardziej korzystnych. Jedną z głównych metod zapewniających praktyczną realizację tej zasady jest rachunek decyzyjny. Rachunki decyzyjne obejmują:

- zestawienie nakładów i efektów dla każdego z wariantów rozwiązania, który jest technicznie możliwy i ekonomicznie realny;
- porównanie wszystkich wariantów i wybór najlepszego w danych warunkach.

Wybór najlepszego wariantu działania wymaga znajomości kryteriów optymalizacji decyzji ekonomicznych. Podkreślić należy, że rozwiązanie optymalne istnieje tylko w kontekście określonego kryterium. W praktyce gospodarczej za kryteria wyboru rozwiązań wielu problemów decyzyjnych najczęściej przyjmuje się: maksymalizację produkcji, minimalizację kosztów, maksymalizację zysku. Wszystkie wymienione parametry ekonomiczne są ze sobą ściśle związane.

Największe jest kryterium maksymalizacji produkcji, ponieważ pozwala na regulowanie i kierowanie jedynie podstawowymi i pomocniczymi procesami produkcyjnymi, pozostawiając poza zasięgiem obserwacji nakłady materiałowo-energetyczne, problemy zakupu materiałów, surowców, energii, siły roboczej oraz problemy sprzedaży wytworzonych produktów.

Przyjęcie jako funkcji celu minimalizacji kosztów rozszerza pole decyzji o regulację nakładów, ale poza jej oddziaływaniem pozostaje sprzedaż. Na podkreślenie zasługuje to, że czynniki produkcji (np. materiały, praca ludzka, maszyny, urządzenia, części wymienne, energia technologiczna itp.) zużyte w procesie produkcji i sprzedaży nazywamy kosztami.

Przyjęcie jako kryterium podejmowania decyzji zysku pozwala uwzględnić większą różnorodność czynników, mających zasadnicze znaczenie dla zarządzania podmiotem gospodarczym.

Biorąc pod uwagę prace [Grzegórski 1977, Landowski 1999, Woropay *i in.* 2001, Niziński i Kolator 2004], wielkości: dochód, koszty i zysk można przedstawić za pomocą wzorów:

$$\overline{D}_p = \frac{\sum_{i \in I} d_i \cdot p_i^* \cdot E(T_i)}{\sum_{i \in I} p_i^* \cdot E(T_i)} \quad (15)$$

$$\overline{C}_p = \frac{\sum_{i \in I} c_i \cdot p_i^* \cdot E(T_i)}{\sum_{i \in I} p_i^* \cdot E(T_i)} \quad (16)$$

$$\overline{Z}_p = \frac{\sum_{i \in I} z_i \cdot p_i^* \cdot E(T_i)}{\sum_{i \in I} p_i^* \cdot E(T_i)} \quad (17)$$

gdzie:

p_i^* – prawdopodobieństwo graniczne włożonego łańcucha Markowa;

$E(T_i)$ – wartość oczekiwana zmiennej losowej oznaczającej czas przebywania obiektu w stanie i ;
 $i \in I$ – liczba stanów procesu;
 d_i, c_i, z_i – dochód, koszty, zysk na jednostkę czasu, związane z przebywaniem obiektu w stanie i ;
 $\bar{D}_p, \bar{C}_p, \bar{Z}_p$ – prawdopodobny: dochód, koszty, zysk przypadający na jednostkę czasu eksploatowanego w danym systemie obiektu technicznego.

Dodatni wynik finansowy przedsiębiorstwa na sprzedaży nazywa się zyskiem, a wynik ujemny stratą. Zysk jest różnicą między sumarycznym dochodem D_Σ przedsiębiorstwa a jego sumarycznymi (własnymi) kosztami C_Σ :

$$Z_\Sigma = D_\Sigma - C_\Sigma \quad (18)$$

Koszty całkowite systemu działania opisuje wzór:

$$C_\Sigma = C_{dp} + C_{dl} + C_{ds} \quad (19)$$

$$C_{dl} = C_{lz} + C_{lt} + C_{ld} + C_{lo} + C_{le} \quad (20)$$

$$C_{le} = C_o + C_u + C_p + C_d + C_z \quad (21)$$

gdzie:

C_{dp} – koszty działalności podstawowej (produkcji);
 C_{dl} – koszty działalności logistycznej;
 C_{ds} – koszty działalności systemowej (administracyjnej);
 C_{lz} – koszty zasilania (zaopatrzenia);
 C_{lt} – koszty transportu;
 C_{ld} – koszty dystrybucji;
 C_{lo} – koszty ochrony środowiska;
 C_{le} – koszty eksploatacji obiektów technicznych;
 C_o – koszty obsługiwanania;
 C_u – koszty użytkowania;
 C_p – koszty przechowywania;
 C_d – koszty diagnozowania;
 C_z – koszty zarządzania.

Wstawiając (19) i (20) do (18), otrzymamy:

$$Z_\Sigma = D_\Sigma - (C_{dp} + C_{ds}) - (C_{lz} + C_{lt} + C_{ld} + C_{lo} + C_{le}) \quad (22)$$

Wyrażenie (22) pokazuje wpływ kosztów działalności podstawowej, systemowej, logistycznej, w tym eksploatacji urządzeń technicznych na wynik finansowy przedsiębiorstwa.

Przyjmując za W (efekty) $\rightarrow D_\Sigma$, zaś za N_n (nakłady) $\rightarrow C_\Sigma$, otrzymamy dwie strategie działania:

$$E_s = \max\left(\frac{D_\Sigma}{C_\Sigma}\right), C_\Sigma = \text{const}, D_\Sigma \rightarrow \max \quad (23)$$

$$E_s = \max\left(\frac{D_\Sigma}{C_\Sigma}\right), C_\Sigma = \min, D_\Sigma \rightarrow \text{const} \quad (24)$$

Strategia pierwsza (23) oznacza, że przy ustalonych kosztach systemu należy dążyć do maksymalizacji dochodu, zaś strategia druga (24) nakazuje minimalizację kosztów systemu przy ustalonych jego dochodach.

Podstawiając do (24) wyrażenia (18), (19) i (20), otrzymamy:

$$E_s = \frac{Z_\Sigma + C_\Sigma}{C_\Sigma} = 1 + \frac{Z_\Sigma}{C_{dp} + C_{ds} + C_{lz} + C_{lt} + C_{ld} + C_{lo} + C_{le}} \quad (25)$$

Współczynnik E_s określa efektywność funkcjonowania systemu działania. Zakładając $Z_\Sigma > 0$, ze wzrostem kosztów C_Σ maleje wartość E_s , zaś ze spadkiem C_Σ rośnie. Dla $Z_\Sigma = 0$, $D_\Sigma = C_\Sigma$, co oznacza, że przychód przedsiębiorstwa zrównoważył tylko jego koszty własne. Jeżeli do wzoru (25) podstawimy wyrażenia (16) i (17), to uzyskamy:

$$\bar{E}_s = 1 + \frac{\bar{Z}_p}{\bar{C}_p} = 1 + \frac{\sum_{i \in I} z_i \cdot p_i^* \cdot E(T_i)}{\sum_{i \in I} c_i^* \cdot E(T_i)} \quad (26)$$

Wielkość $\bar{E}_s$ można nazwać współczynnikiem efektywności wykorzystania obiektu technicznego w przedsiębiorstwie.

Biorąc pod uwagę wzór (16), można wyprowadzić następujące współczynniki:

- kosztów logistycznych obiektu:

$$k_{lp} = \frac{\bar{C}_l}{\bar{C}_\Sigma} = \frac{\sum_{i \in I} c_i \cdot p_i^* \cdot E(T_i)}{\sum_{i \in I} c_{\Sigma i} \cdot p_i^* \cdot E(T_i)} \quad (27)$$

gdzie:

c_i – jednostkowe koszty logistyczne związane z przebywaniem obiektu w stanie i ;

$c_{\Sigma i}$ – jednostkowe koszty całkowite związane z przebywaniem obiektu w stanie i ;

$\bar{C}_l$ – prawdopodobne koszty logistyczne przypadające na jednostkę czasu eksploatowanego w danym systemie obiektu technicznego;

$\bar{C}_\Sigma$ – prawdopodobne koszty całkowite przypadające na jednostkę czasu eksploatowanego w danym systemie obiektu technicznego;

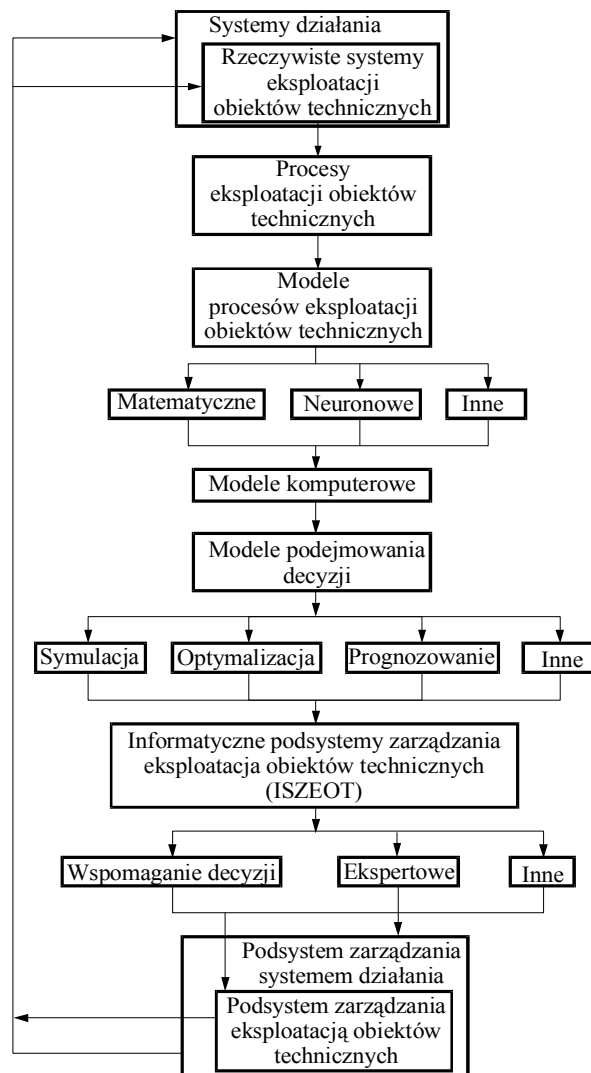
- kosztów eksploatacji obiektu:

$$k_{ep} = \frac{\bar{C}_{le}}{\bar{C}_{dl}} = \frac{\sum_{i \in I} c_i \cdot p_i^* \cdot E(T_i)}{\sum_{i \in I} c_{li} \cdot p_i^* \cdot E(T_i)} \quad (28)$$

- syntetyczny współczynnik kosztów eksploatacji obiektu:

$$k_{es} = \frac{\bar{C}_{le}}{\bar{C}_{\Sigma}} = \frac{\sum_{i \in I} c_i \cdot p_i^* \cdot E(T_i)}{\sum_{i \in I} c_{\Sigma i} \cdot p_i^* \cdot E(T_i)} \quad (29)$$

gdzie: $\bar{C}_{le}$ – prawdopodobne koszty eksploatacji przypadające na jednostkę czasu eksploatawanego w danym systemie obiektu technicznego.



Rys. 2. Ilustracja graficzna wykorzystania modeli procesów eksploatacji obiektów technicznych w zarządzaniu systemami działania

Fig. 2. Graphic representation of using models of an exploitation of technical objects in the management of activity systems

Wyrażenia (25) do (29) stanowią funkcję celu, zwaną funkcją kryterium optymalizacji lub funkcją kryterialną, którą po ustaleniu współczynników można wykorzystać w badaniach symulacyjnych, optymalizacji i prognozowaniu kosztów eksploatacji obiektów technicznych.

Wykorzystanie rozpatrzonych modeli procesów eksploatacji obiektów technicznych w zarządzaniu systemem działania przedstawiono na rys 2.

PODSUMOWANIE

W dotychczasowych rozważaniach opracowano niżej wymienione ogólne modele matematyczne, opisujące proces eksploatacji obiektów technicznych (rys. 3).

Zbiór tych modeli jest kompleksowym modelem matematycznym procesu eksploatacji obiektów technicznych [Niziński i Wierzbicki 2002, 2003; Żółtowski i Niziński 2002, Niziński i Kolator 2004]:

- a) prawdopodobieństw przebywania obiektów w wyróżnianych stanach:

$$p_i = f(p_i^*, E(T_i)); p_i^* = g(p_{ij}) \quad (30)$$

- b) współczynnika gotowości technicznej:

$$K_{gt} = f_1(p_i^*, E(T_i)) \quad (31)$$

- c) prawdopodobnego dochodu na jednostkę czasu eksploatowanego w danym systemie obiektu technicznego:

$$\bar{D}_p = f_2(d_i, p_i^*, E(T_i)) \quad (32)$$

- d) prawdopodobnego kosztu:

$$\bar{C}_p = f_3(c_i, p_i^*, E(T_i)) \quad (33)$$

- e) prawdopodobnego zysku:

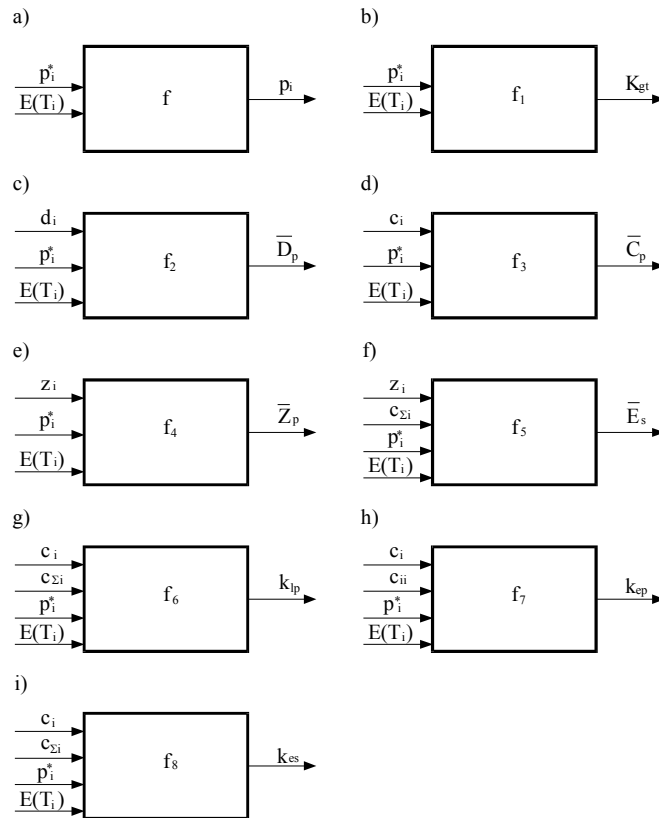
$$\bar{Z}_p = f_4(z_i, p_i^*, E(T_i)) \quad (34)$$

- f) współczynnika efektywności wykorzystania obiektu technicznego w przedsiębiorstwie:

$$\bar{E}_s = f_5(z_i, c_i, p_i^*, E(T_i)) \quad (35)$$

- g) współczynnika kosztów logistycznych obiektu:

$$k_{lp} = f_6(c_{li}, c_{\Sigma i}, p_i^*, E(T_i)) \quad (36)$$



Rys. 3. Ilustracja graficzna ogólnych modeli matematycznych procesu eksploatacji obiektów technicznych

Fig. 3. Graphic representation of general mathematical models of the process of exploitation of technical objects

h) współczynnika kosztów eksploatacji obiektów:

$$k_{ep} = f_7(c_i, c_{\Sigma i}, p_i^*, E(T_i)) \quad (37)$$

i) syntetycznego współczynnika kosztów eksploatacji obiektu:

$$k_{es} = f_8(c_i, c_{\Sigma i}, p_i^*, E(T_i)) \quad (38)$$

LITERATURA

- Grzegórski J. 1977: Model oceny procesu eksploatacji systemu transportowego na przykładzie zakładów komunikacji miejskiej. Praca doktorska, ATR, Bydgoszcz.
- Landowski B. 1999: Metoda wyznaczania wartości wybranych zmiennych decyzyjnych do racjonalnego sterowania procesem eksploatacji realizowanym w systemie transportowym. Praca doktorska, ATR, Bydgoszcz.

- Niziński S., Wierzbicki S. 2002: Model procesu eksploatacji pojazdów mechanicznych. *Transport* 1 (15), Politechnika Radomska, 435–440.
- Niziński S., Wierzbicki S. 2003: Model procesu eksploatacji pojazdów z uwzględnieniem kryterium efektywności. *Transport* 1 (17), Politechnika Radomska, 489–502.
- Niziński S. Kolator B. 2004: Charakterystyki procesów markowa jako mierniki oceny efektywności eksploatacji obiektów technicznych. *Transport* 2 (20), Politechnika Radomska, 247–256.
- Woropay M. 1998: Metoda oceny realizacji procesu eksploatacji w systemie transportowym. ITE, Radom-Bydgoszcz.
- Woropay M., Knopik L., Landowski B. 2001: Modelowanie procesów eksploatacji w systemie transportowym. Biblioteka Problemów Eksploatacji. ITE, Radom.
- Żółtowski B.; Niziński S. 2002: Modelowanie procesów eksploatacji maszyn. MAKAR-BŻ, Bydgoszcz.

CHARACTERISTICS OF MARKOV PROCESSES AS THE EVALUATION INDICATORS OF A TECHICAL OBJECT'S

Summary. In the present paper the time indicators, coefficients and value indicators for evaluation of a technical object's operation efficiency have been analysed, and described. A complete model was defined of vehicles and machines exploitation.

Key words: mathematical model, measures of efficiency assessment, system of vehicles and machines exploitation

Recenzent: prof. dr hab. Bogdan Żółtowski