

## KONCEPCJA MODELU MATEMATYCZNEGO KOSZTÓW EKSPLOATACJI OBIEKTÓW TECHNICZNYCH

Stanisław NIZIŃSKI, Krzysztof LIGIER

Katedra Eksploatacji Pojazdów i Maszyn UWM w Olsztynie  
ul. Oczapowskiego 11, 10-736 Olsztyn  
tel. 523 48 11, e-mail: klig@uwm.edu.pl

### Streszczenie

W pracy przedstawiono koncepcje uzyskania modelu matematycznego kosztów eksploatacji w tym diagnozowania obiektów technicznych, będących składnikami kosztów całkowitych i logistycznych systemu działania. Zaproponowano także program badań eksperymentalnych kosztów, którego zrealizowanie umożliwi uzyskanie omówionych modeli.

Słowa kluczowe: system eksploatacji, koszty eksploatacji, logistyka, eksploatacja, model matematyczny

## CONCEPTION OF EXPLOITATION COSTS MATHEMATICAL MODEL OF TECHNICAL OBJECTS

### Summary

In the paper there was presented a conception of obtaining of the exploitation costs mathematical model, including diagnosing of technical objects, that are components of total and logistics costs of the operation system. The costs experimental research program was proposed. After accomplishing the program, it will enable reaching the described models.

Key words: exploitation costs, exploitation system, logistics, exploitation, diagnostic, mathematical model

### 1. WPROWADZENIE

Wyróżnia się dwa sposoby tworzenia modelu matematycznego obiektu badań:

- 1) na bazie badań doświadczalnych (metoda eksperymentalna). Ten sposób tworzenia modelu matematycznego przyjmuje się, jeśli są nieznanne podstawy teoretyczne lub zjawiska w obiekcie badań są szczególnie złożone;
- 2) na podstawie analizy teoretycznej zjawisk związanych z obiektem (metoda teoretyczna). Istota metody polega na opisie teoretycznym obiektu badań za pomocą podstawowych praw naukowych umożliwiających jego analizę teoretyczną. Utworzony model powinien podlegać weryfikacji doświadczalnej.

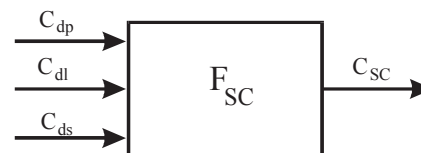
Celem niniejszej pracy jest przedstawienie koncepcji poszukiwania modeli matematycznych kosztów eksploatacji obiektów technicznych, w tym:

- szczegółowych, dotyczących różnych urządzeń technicznych eksploatowanych w różnych systemach działania;

- ogólnych dotyczących urządzeń technicznych eksploatowanych w dowolnych systemach działania.

### 2. MODEL KOSZTÓW CAŁKOWITYCH SYSTEMU DZIAŁANIA

Model kosztów  $C_{SC}$  dowolnego systemu działania zilustrowano na rys. 1 [1].



Rys. 1. Ilustracja graficzna modelu kosztów całkowitych systemu działania (oznaczenia w tekście)

Jakościowy model kosztów całkowitych systemu działania określa wzór:

$$C_{SC} = F_{SC} (C_{dp}, C_{dl}, C_{ds}) \quad (1)$$

gdzie:

- $C_{SC}$  – koszty całkowite systemu działania;
- $C_{dp}$  – koszty działalności podstawowej;
- $C_{dl}$  – koszty działalności logistycznej;
- $C_{ds}$  – koszty działalności systemowej (administracyjnej).

Funkcja obiektu badań kosztów całkowitych obiektów technicznych aproksymowano wielomianem drugiego stopnia ze współdziałaniami pierwszego rzędu:

$$C_{SC} = a_0 + a_1 C_{dp} + a_2 C_{dl} + a_3 C_{ds} + a_4 C_{dp}^2 + a_5 C_{dl}^2 + a_6 C_{ds}^2 + a_7 C_{dp} C_{dl} + a_8 C_{dp} C_{ds} + a_9 C_{dl} C_{ds} \quad (2)$$

gdzie:

$a_0, a_1, a_2, \dots$  - parametry (współczynniki) funkcji obiektu badań.

Podkreślić należy w badaniach obiektów charakteryzowanych wieloma wielkościami wejściowymi przyjmuje się powszechnie, jeśli nie występują zalecenia szczególne wymagające innego typu funkcji, wielomian drugiego stopnia (kwadratowy) ze współdziałaniami (2) lub bez współdziałania, pierwszego rzędu (3), który może być zredukowany do postaci linowej (4):

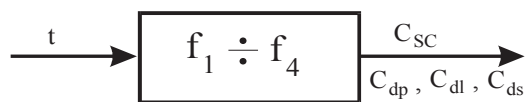
$$C_{SC} = b_0 + b_1 C_{dp} + b_2 C_{dl} + b_3 C_{ds} + b_4 C_{dp}^2 + b_5 C_{dl}^2 + b_6 C_{ds}^2 \quad (3)$$

$$C_{SC} = d_0 + d_1 C_{dp} + d_2 C_{dl} + d_3 C_{ds} \quad (4)$$

gdzie:

$b_0, d_0, b_1, d_1, b_2, d_2, \dots$  - parametry (współczynniki) funkcji obiektu badań.

Ze względów praktycznych ważny jest model kosztów: całkowitych  $C_{SC}$ , działalności podstawowej  $C_{dp}$ , działalności logistycznej  $C_{dl}$ , i systemowej  $C_{ds}$ , funkcji czasu  $t$  (rys. 2).



Rys. 2. Ilustracja graficzna modelu kosztów:  $C_{sc}$ ,  $C_{dp}$ ,  $C_{ds}$ ,  $C_{dl}$  funkcji czasu

$$\begin{aligned} C_{sc} &= f_1(t) \\ C_{dp} &= f_2(t) \\ C_{dl} &= f_3(t) \\ C_{ds} &= f_4(t) \end{aligned} \quad (5)$$

Do najczęściej stosowanych wielomianów aproksymujących koszty całkowite i ich składniki, można zaliczyć niżej podane postacie wielomianów algebraicznych:

$$\begin{aligned} C_{sc} &= a_c + a_{c1}t + a_{c2}t^2 + \dots + a_{cn}t^n \\ C_{dp} &= a_p + a_{p1}t + a_{p2}t^2 + \dots + a_{pn}t^n \\ C_{dl} &= a_c + a_{l1}t + a_{l2}t^2 + \dots + a_{ln}t^n \\ C_{ds} &= a_s + a_{s1}t + a_{s2}t^2 + \dots + a_{sn}t^n \end{aligned} \quad (6)$$

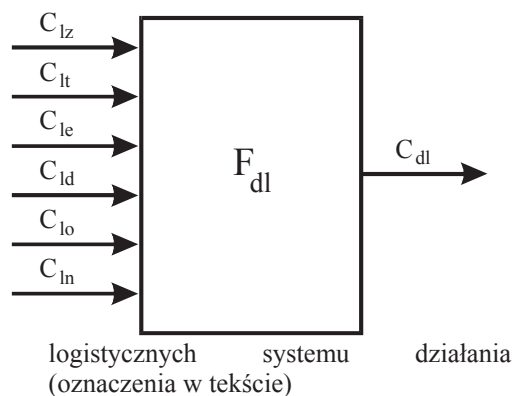
gdzie:

$a_c, a_p, a_l, a_s, \dots$  - parametry (współczynniki) funkcji obiektu badań).

### 3. MODEL KOSZTÓW LOGISTYCZNYCH

Jakościowy model matematyczny kosztów logistycznych systemu działania przedstawia wyrażenie (rys. 3) [1].

Rys. 3. Ilustracja graficzna modelu kosztów



$$C_{dl} = F_{dl} (C_{lz}, C_{lt}, C_{le}, C_{ld}, C_{lo}, C_{ln}) \quad (7)$$

gdzie:

$C_{lz}$  – koszty zasilania (zaopatrzenia);  $C_{lt}$  – koszty transportu;  $C_{le}$  – koszty eksploatacji urządzeń technicznych;  $C_{ld}$  – koszty dystrybucji;  $C_{lo}$  – koszty ochrony środowiska;  $C_l$  – inne koszty.

Wielomian aproksymujący (funkcja obiektu badań) koszty logistyczne ma postać:

$$\begin{aligned} C_{dl} &= a_1 + a_{11}C_{lz} + a_{12}C_{lt} + a_{13}C_{le} + a_{14}C_{ld} + a_{15}C_{lo} + a_{16}C_{ln} + a_{17}C_{lz}^2 + a_{18}C_{lt}^2 + a_{19}C_{le}^2 + a_{110}C_{ld}^2 + a_{111}C_{lo}^2 \\ &+ a_{112}C_{ln}^2 + a_{113}C_{lz}C_{lt} + a_{114}C_{lz}C_{le} + a_{115}C_{lz}C_{ld} + a_{116}C_{lz}C_{lo} + a_{117}C_{lz}C_{ln} + a_{118}C_{lt}C_{le} + a_{119}C_{lt}C_{ld} \\ &+ a_{120}C_{lt}C_{lo} + a_{121}C_{lt}C_{ln} + a_{122}C_{le}C_{ld} + a_{123}C_{le}C_{lo} + a_{124}C_{le}C_{ln} + a_{125}C_{ld}C_{lo} + a_{126}C_{ld}C_{ln} + a_{127}C_{lo}C_{ln} \end{aligned} \quad (8)$$

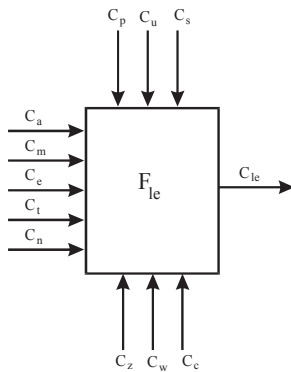
gdzie:

$a_1, a_{11}, a_{12}, \dots$  - parametry (współczynniki) funkcji badań.

Koszty działalności: logistycznej  $C_{dl}$ , zasilania  $C_{lz}$ , transportu  $C_{lt}$ , eksploatacji urządzeń  $C_{le}$ , dystrybucji wyrobów  $C_{ld}$ , ochrony środowiska  $C_{lo}$  i inne  $C_{ln}$  można opisać za pomocą wielomianów algebraicznych (2, 3, 4).

### 4. MODEL KOSZTÓW EKSPLOATACJI

Jakościowy model matematyczny kosztów eksploatacji obiektów technicznych określa wyrażenie (9) (rys. 4) [1].



Rys. 4. Ilustracja graficzna kosztów eksploatacji obiektów technicznych (oznaczenia w tekście)

$$C_{le} = F_{le}(C_a, C_m, C_e, C_t, C_n, C_p, C_u, C_s, C_z, C_w, C_c) \quad (9)$$

gdzie:

- $C_a$  – koszty eksploatacji obiektów technicznych;
- $C_m$  – koszty amortyzacji;
- $C_e$  – koszty materiałów i części zamiennych;
- $C_t$  – koszty obcych usług transportowych;
- $C_n$  – koszty obcych napraw urządzeń;
- $C_p$  – płace pracowników;
- $C_u$  – ubezpieczenia społeczne;
- $C_s$  – odpisy na zakładowy fundusz świadczeń socjalnych;
- $C_z$  – pozostałe świadczenia pracowników;
- $C_w$  – podatki;
- $C_c$  – pozostałe koszty.

Wielomian algebraiczny określający funkcję eksploatacji obiektów technicznych ma postać:

$$C_{le} = a_e + a_{e1}C_a + a_{e2}C_m + \dots + a_{e11}C_c + a_{12}C_a^2 + a_{13}C_m^2 + \dots + a_{e22}C_c^2 + a_{e23}C_aC_m + a_{e24}C_aC_e + \dots + a_{ek}C_wC_c \quad (10)$$

Koszty eksploatacji obiektów technicznych  $C_{le}$ , koszty urządzeń, materiałów i części zamiennych  $C_m$  i innych można opisać za pomocą wielomianów algebraicznych (2, 3, 4).

Koszty eksploatacji  $C_{lem}$  obiektów technicznych w zależności od miejsca ich powstawania w systemie eksploatacji można opisać za pomocą wyrażenia (rys. 5):

$$C_{lem} = F_{lem}(C_{eu}, C_{ed}, C_{eo}, C_{ez}) \quad (11)$$

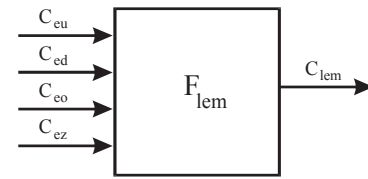
gdzie:

$C_{eu}$ ,  $C_{ed}$ ,  $C_{eo}$ ,  $C_{ez}$  – koszty w podsystemie użytkowania, diagnostycznym, obsługiwanym i zarządzania.

Wielomian algebraiczny kosztów  $C_{lem}$  ma postać:

$$C_{lem} = a_m + a_{m1}C_{eu} + a_{m2}C_{ed} + a_{m3}C_{eo} + a_{m4}C_{ez} + a_{m5}C_{eu}^2 + a_{m6}C_{ed}^2 + a_{m7}C_{eo}^2 + a_{m8}C_{ez}^2 + a_{m9}C_{eu}C_{ed} + a_{m10}C_{eu}C_{eo} + a_{m11}C_{eu}C_{ez} + a_{m12}C_{ed}C_{eo} + a_{m13}C_{ed}C_{ez} + a_{m14}C_{eo}C_{ez} \quad (12)$$

Koszty; eksploatacji  $C_{lem}$ , w podsystemie użytkowania  $C_{eu}$ , diagnostycznym  $C_{ed}$ , obsługiwanym  $C_{eo}$  i zarządzania  $C_{ez}$  można opisać za pomocą wielomianów algebraicznych (2, 3, 4).



Rys. 5. Ilustracja graficzna modelu kosztów eksploatacji obiektów technicznych w zależności od miejsca ich powstawania (oznaczenia w tekście)

Chcąc uzyskać konkretny model matematyczny kosztów całkowitych i logistycznych systemu działania, a także kosztów eksploatacji obiektów technicznych należy wykonać badania eksperymentalne, których koncepcję przedstawiono w punkcie 5.

## 5. PROGRAM BADAŃ EKSPERYMENTALNYCH

Program badań kosztów eksploatacji obiektów technicznych przedstawiono na rys. 6. Poziom zerowy grafu odpowiada kosztom  $C_{sc}$  całkowitym systemu działania, zaś poziomy I ich składnikom: tzn.: kosztom  $C_{dp}$  działalności podstawowej; logistycznej  $C_{dl}$  i systemowej (administracyjnej)  $C_{ds}$ . Poziom II grafu przedstawia składniki kosztów logistycznych, tzn. koszty: zasilania (zaopatrywania)  $C_{lz}$ , transportu  $C_{lt}$ , eksploatacji  $C_{le}$ , dystrybucji  $C_{ld}$ , i ochrony środowiska  $C_{lo}$ . Na poziomie III pokazano składniki kosztów eksploatacji  $C_{le}$ , zaś na poziomie IV koszty, które powstają w podsystemach: użytkowania  $C_{eu}$ , diagnostyki  $C_{ed}$ , obsługiwanego  $C_{eo}$  i zarządzania  $C_{ez}$ .

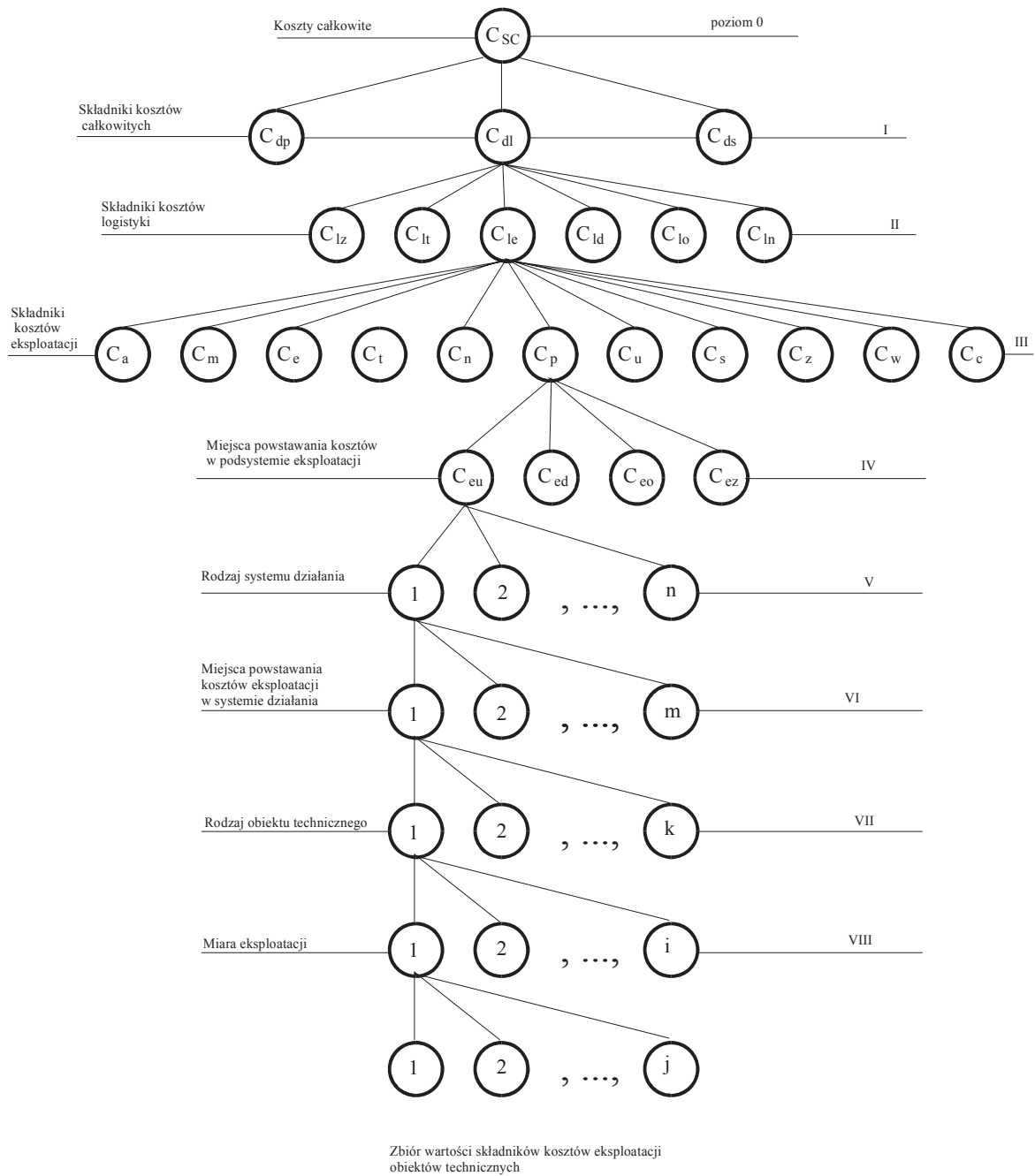
Poziom V oznacza rodzaj systemu działania, w którym występują koszty eksploatacji obiektów technicznych. Proponuje się rozważyć następujące systemy działania:

- przedsiębiorstwo produkcyjne;
- przedsiębiorstwo rolnicze;
- przedsiębiorstwo transportowe;
- wojskowe jednostki budżetowe.

Poziom VI oznacza miejsca powstawania kosztów eksploatacji obiektów technicznych w systemach działania, tzn. w wydziałach produkcji podstawowej i wydziałach pomocniczych (naprawczych). Poziom VII oznacza koszty eksploatacji rejestrowane dla konkretnych obiektów technicznych. Proponuje się rozważyć koszty eksploatacji: tokarek, kombajnów zbożowych, samochodów ciężarowych i innych obiektów technicznych. Poziom VIII grafu nakazuje rejestrację kosztów eksploatacji obiektów technicznych w funkcji miary eksploatacji, którą mogą być: miesiące, lata, km, mtg, liczba cykli obciążenia, itp.

Można rozpatrywać inne poziomy badania kosztów eksploatacji obiektów technicznych na przykład: warunki eksploatacji (hala, drogi

utwardzone, bezdroża), obciążenie (pełne, średnie, małe), kwalifikacje operatorów (bardzo dobre, dobre, dostateczne), itp.



Rys. 6. Graf badań kosztów eksploatacji obiektów technicznych

## 6. PODSUMOWANIE

Reasumując rozpatrzone zagadnienia poświęcone modelom matematycznym kosztów eksploatacji obiektów technicznych można stwierdzić, co następuje:

- 1) do opracowania modelu matematycznego kosztów eksploatacji obiektów technicznych jest celowe wykorzystanie metody eksperymentalnej;
- 2) koszty całkowite systemu działania obejmują koszty: działalności podstawowej, logistycznej i systemowej;
- 3) koszty logistyczne systemu działania obejmują koszty: zasilania, transportu, dystrybucji, ochrony środowiska i eksploatacji majątku trwałego, w tym eksploatacji obiektów technicznych;
- 4) w skład kosztów eksploatacji obiektów technicznych między innymi wchodzi

następujące składniki kosztów: amortyzacji, materiałów i części zamiennych, energii, usług transportowych, obcych napraw urządzeń, płac pracowników, ubezpieczeń społecznych;

- 5) do uzyskania modelu matematycznego kosztów eksploatacji obiektów technicznych jest niezbędne wykonanie badań eksperymentalnych według opracowanego programu (rys. 6).

## LITERATURA

- [1] NIZIŃSKI S., WIERZBICKI S.: Model kosztów eksploatacji obiektów technicznych. IX Kongres Eksploatacji Urządzeń Technicznych, SPE ITE Radom – Krynica 2001.
- [2] POLAŃSKI Z.: Planowanie doświadczeń w technice. WNT, Warszawa 1984.



Prof. dr hab. inż. Stanisław Niziński jest pracownikiem naukowym Katedry Eksploatacji Pojazdów i Maszyn UWM w Olsztynie oraz Wojskowego Instytutu Techniki Pancernej i Samochodowej w Sulejówku. Jest wieloletnim członkiem Sekcji Podstaw

Eksploatacji KBM PAN oraz Polskiego Naukowo-Technicznego Towarzystwa Diagnostyki Technicznej. Jego zainteresowania naukowe obejmują zagadnienia dotyczące logistyki w systemach działania, eksploatacji i diagnostyki obiektów technicznych, szczególnie pojazdów mechanicznych. Jest autorem i współautorem wielu prac naukowych i dydaktycznych.



Mgr inż. Krzysztof Ligier jest asystentem w Katedrze Eksploatacji Pojazdów i Maszyn Wydziału Nauk Technicznych UWM w Olsztynie. Jest członkiem Polskiego Naukowo-Technicznego Towarzystwa Eksploatacji, redaktorem czasopisma „Diagnostyka”.

Zajmuje się problemami eksploatacji i diagnostyki maszyn i urządzeń technicznych.