

METODA OPTIMALIZACJI PRZEGLĄDÓW OKRESOWYCH TRANSPORTOWYCH SYSTEMÓW NADZORU

Adam ROSIŃSKI

Politechnika Warszawska, Wydział Transportu, Zakład Telekomunikacji w Transporcie
00-662 Warszawa, ul. Koszykowa 75
Tel. 022-6607036, email: adro@it.pw.edu.pl

Streszczenie

Transportowe systemy nadzoru są to systemy, których celem jest wykrywanie zagrożeń występujących w procesie transportowym. Zapewniają bezpieczeństwo ludziom, a także ochronę przewożonym towarom zarówno w obiektach stałych, jak i ruchomych. Zachowanie zdolności jest istotnym warunkiem ich poprawnej pracy. W referacie zaprezentowano metodę optymalizacji przeglądów okresowych, która uwzględnia wybrane własności niezawodnościowe (intensywność uszkodzeń) i eksploatacyjne (intensywność napraw, intensywności realizacji przeglądów). Kryterium optymalizacyjne maksymalizuje wartość wskaźnika gotowości.

Słowa kluczowe: eksploatacja, gotowość.

EXPLOITATION STRATEGIES OF MONITORING TRANSPORT SYSTEMS

Summary

Monitoring transport systems are the systems which task is detection of hazards occurring in the transport process. They assure the safety of people as well as protection of the carried goods in the stationary and mobile objects. Preservation of their ability is the essential condition of their correct operation. Paper presents method of optimization of the periodical surveys, which takes into consideration the chosen factors of reliability (failure rate) and exploitation (repair rate, intensity of survey realization). Optimization criterion is the maximization of the rate of availability.

Keywords: exploitation, availability.

1. WSTĘP

Głównym celem transportu jest przemieszczanie osób i ładunków. Proces ten powinien cechować się wysokim poziomem niezawodności i bezpieczeństwa. Dlatego też niezbędne jest stosowanie transportowych systemów nadzoru, których zadaniem jest zwiększenie bezpieczeństwa przewożonych osób i ładunków.

Transportowe systemy nadzoru są to systemy, których celem jest wykrywanie zagrożeń występujących w procesie transportowym (dla obiektów stacjonarnych i ruchomych). Są one coraz częściej stosowane w procesie transportowym, gdzie oprócz zapewnienia bezpieczeństwa ludziom (np. systemy nadzoru zainstalowane w obiektach stałych lotniska, dworcach kolejowych, itp.), zapewniają także ochronę przewożonym towarom zarówno w obiektach stałych (np. bazy logistyczne, terminale przeładunkowe, itp.), jak i ruchomych (np. w połączeniu z systemem GPS – monitorowanie stanu ładunku i trasy przejazdu danego pojazdu).

Transportowe systemy nadzoru pracują w zróżnicowanych warunkach eksploatacyjnych. Ich poprawne funkcjonowanie jest uzależnione nie tylko

od niezawodności poszczególnych części składowych tworzących system, ale także od przyjętych do realizacji przeglądów okresowych [1, 2, 4]. Maksymalizacja wskaźnika gotowości możliwa jest m.in. poprzez opracowanie metody optymalizacji przeglądów okresowych.

2. OPTIMALIZACJA PRZEGLĄDÓW OKRESOWYCH

Projektując systemy nadzoru można wpływać na wskaźniki niezawodności m.in. poprzez zastosowanie odpowiednich struktur niezawodnościowych [3]. W ten sposób korygujemy wartość intensywności uszkodzeń zaprojektowanego systemu. Pomimo takiego podejścia przy projektowaniu tego typu systemów, niezbędne jest także uwzględnienie wskaźnika gotowości, zgodnie ze wzorem :

$$K_g = \frac{T_m}{T_m + T_n} \quad (1)$$

gdzie: T_m - średni czas poprawnej pracy między uszkodzeniami,

T_n - średni czas naprawy.

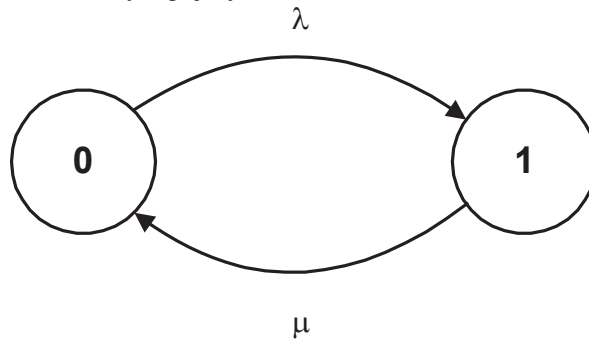
Z przedstawionych zależności wynika, że system może znajdować się w jednym z dwóch stanów (rys. 1):

- stan użytkowania (sprawności),
- stan naprawy.

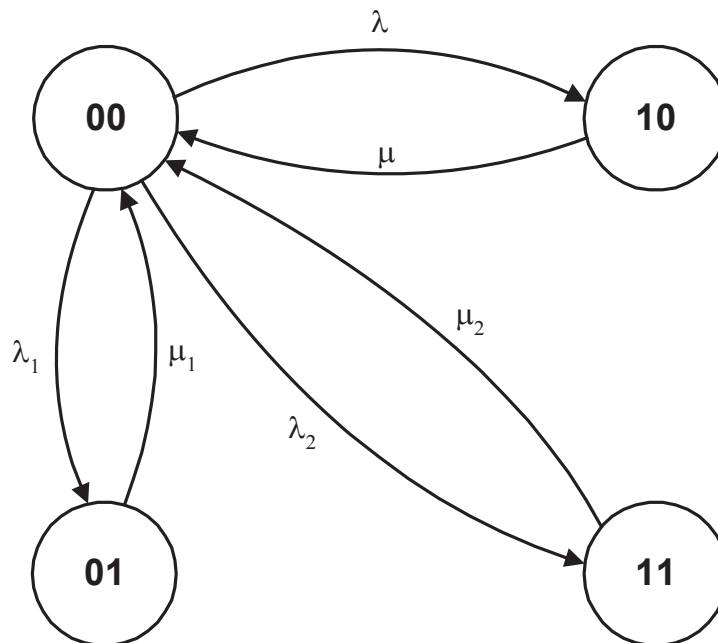
Przedstawiony na rys. 1 graf przejść nie zawiera wszystkich możliwych i występujących

w rzeczywistości stanów. Dlatego należy go uzupełnić o następujące dwa stany (rys. 2):

- stan 01 (podczas którego wykonuje się podstawowe czynności wymagane zakresem obsługi),
- stan 11 (podczas którego wykonuje się rozszerzony zakres czynności).



Rys. 1. Graf przejść między stanem użytkowania i naprawy
Oznaczenia na rys.: λ - intensywność uszkodzeń,
 μ - intensywność napraw



Rys. 2. Graf przejść między stanem użytkowania, naprawy, przeglądu I i II rodzaju
Oznaczenia na rys.: λ - intensywność uszkodzeń,
 μ - intensywność napraw,
 λ_1 - intensywność przeglądów I rodzaju,
 μ_1 - intensywność realizacji przeglądów I rodzaju,
 λ_2 - intensywność przeglądów II rodzaju,
 μ_2 - intensywność realizacji przeglądów II rodzaju

Dla grafu przejść przedstawionego na rys. 2 można zapisać następujące równania:

$$\begin{aligned}
 -\lambda \cdot P_{00} + \mu \cdot P_{10} - \lambda_1 \cdot P_{00} + \mu_1 \cdot P_{01} - \lambda_2 \cdot P_{00} + \mu_2 \cdot P_{11} &= 0 \\
 \lambda \cdot P_{00} - \mu \cdot P_{10} &= 0 \\
 \lambda_1 \cdot P_{00} - \mu_1 \cdot P_{01} &= 0 \\
 \lambda_2 \cdot P_{00} - \mu_2 \cdot P_{11} &= 0
 \end{aligned} \tag{2}$$

W zapisie macierzowym można przedstawić to następująco:

$$\begin{bmatrix}
 -(\lambda + \lambda_1 + \lambda_2) & \mu & \mu_1 & \mu_2 \\
 \lambda & -\mu & 0 & 0 \\
 \lambda_1 & 0 & -\mu_1 & 0 \\
 \lambda_2 & 0 & 0 & -\mu_2
 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} P_{00} \\ P_{10} \\ P_{01} \\ P_{11} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \tag{3}$$

Przekształcając otrzymujemy:

$$\begin{aligned}
 P_{10} &= \frac{\lambda}{\mu} \cdot P_{00} \\
 P_{01} &= \frac{\lambda_1}{\mu_1} \cdot P_{00} \\
 P_{11} &= \frac{\lambda_2}{\mu_2} \cdot P_{00}
 \end{aligned}$$

Oczywiście:

$$P_{00} + P_{10} + P_{01} + P_{11} = 1$$

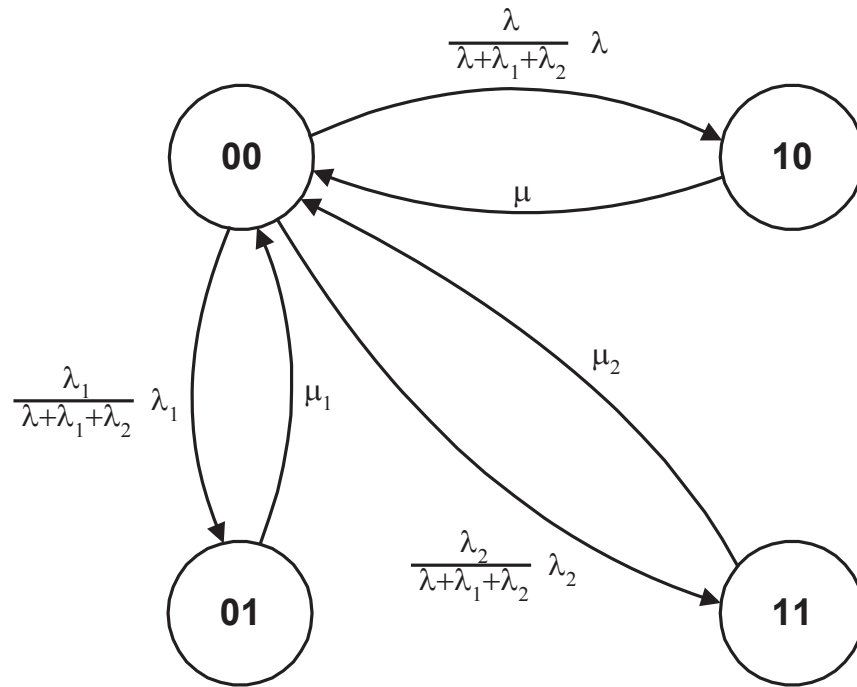
Zatem:

$$P_{00} \cdot \left(1 + \frac{\lambda}{\mu} + \frac{\lambda_1}{\mu_1} + \frac{\lambda_2}{\mu_2}\right) = 1 \tag{4}$$

$$P_{00} = \frac{1}{\left(1 + \frac{\lambda}{\mu} + \frac{\lambda_1}{\mu_1} + \frac{\lambda_2}{\mu_2}\right)} = \frac{\mu \cdot \mu_1 \cdot \mu_2}{\mu \cdot \mu_1 \cdot \mu_2 + \lambda \cdot \mu_1 \cdot \mu_2 + \lambda_1 \cdot \mu \cdot \mu_2 + \lambda_2 \cdot \mu \cdot \mu_1} \tag{5}$$

Wprowadźmy współczynnik, który uzależni wartości intensywności λ , λ_1 i λ_2 od siebie (jeśli jedna z tych wartości będzie wzrastać, to pozostałe powinny maleć). Współczynnikiem tym będzie

stosunek danej intensywności przejścia do sumy wszystkich intensywności naprawy, przeglądu I i II rodzaju. Graf przejść przedstawiony na rys. 2 będzie miał teraz następującą postać (rys. 3):



Rys. 3. Graf przejść między stanem użytkowania, naprawy, przeglądu I i II rodzaju (uwzględniono współczynnik korygujący)

Przeprowadzając rozważania tak jak poprzednio możemy zapisać:

$$\begin{aligned}
 & -\lambda \cdot \frac{\lambda}{\lambda + \lambda_1 + \lambda_2} \cdot P_{00} + \mu \cdot P_{10} - \lambda_1 \cdot \frac{\lambda_1}{\lambda + \lambda_1 + \lambda_2} \cdot P_{00} + \\
 & + \mu_1 \cdot P_{01} - \lambda_2 \cdot \frac{\lambda_2}{\lambda + \lambda_1 + \lambda_2} \cdot P_{00} + \mu_2 \cdot P_{11} = 0 \\
 & \lambda \cdot \frac{\lambda}{\lambda + \lambda_1 + \lambda_2} \cdot P_{00} - \mu \cdot P_{10} = 0 \\
 & \lambda_1 \cdot \frac{\lambda_1}{\lambda + \lambda_1 + \lambda_2} \cdot P_{00} - \mu_1 \cdot P_{01} = 0 \\
 & \lambda_2 \cdot \frac{\lambda_2}{\lambda + \lambda_1 + \lambda_2} \cdot P_{00} - \mu_2 \cdot P_{11} = 0
 \end{aligned} \tag{6}$$

W zapisie macierzowym można przedstawić to następująco:

$$\begin{bmatrix}
 -\left(\frac{\lambda}{\lambda + \lambda_1 + \lambda_2} \cdot \lambda + \frac{\lambda_1}{\lambda + \lambda_1 + \lambda_2} \cdot \lambda_1 + \frac{\lambda_2}{\lambda + \lambda_1 + \lambda_2} \cdot \lambda_2\right) & \mu & \mu_1 & \mu_2 \\
 \frac{\lambda}{\lambda + \lambda_1 + \lambda_2} \cdot \lambda & -\mu & 0 & 0 \\
 \frac{\lambda_1}{\lambda + \lambda_1 + \lambda_2} \cdot \lambda_1 & 0 & -\mu_1 & 0 \\
 \frac{\lambda_2}{\lambda + \lambda_1 + \lambda_2} \cdot \lambda_2 & 0 & 0 & -\mu_2
 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} P_{00} \\ P_{10} \\ P_{01} \\ P_{11} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \tag{7}$$

Przekształcając otrzymujemy:

$$P_{10} = \frac{\lambda}{\lambda + \lambda_1 + \lambda_2} \cdot \frac{\lambda}{\mu} \cdot P_{00}$$

$$P_{01} = \frac{\lambda_1}{\lambda + \lambda_1 + \lambda_2} \cdot \frac{\lambda_1}{\mu_1} \cdot P_{00}$$

$$P_{11} = \frac{\lambda_2}{\lambda + \lambda_1 + \lambda_2} \cdot \frac{\lambda_2}{\mu_2} \cdot P_{00}$$

Oczywiście:

$$P_{00} + P_{10} + P_{01} + P_{11} = 1,$$

zatem:

$$P_{00} \cdot \left(1 + \frac{\lambda}{\lambda + \lambda_1 + \lambda_2} \cdot \frac{\lambda}{\mu} + \frac{\lambda_1}{\lambda + \lambda_1 + \lambda_2} \cdot \frac{\lambda_1}{\mu_1} + \frac{\lambda_2}{\lambda + \lambda_1 + \lambda_2} \cdot \frac{\lambda_2}{\mu_2}\right) = 1 \tag{8}$$

$$P_{00} = \frac{1}{\left(1 + \frac{\lambda}{\lambda + \lambda_1 + \lambda_2} \cdot \frac{\lambda}{\mu} + \frac{\lambda_1}{\lambda + \lambda_1 + \lambda_2} \cdot \frac{\lambda_1}{\mu_1} + \frac{\lambda_2}{\lambda + \lambda_1 + \lambda_2} \cdot \frac{\lambda_2}{\mu_2}\right)} = \tag{9}$$

$$= \frac{(\lambda + \lambda_1 + \lambda_2) \cdot \mu \cdot \mu_1 \cdot \mu_2}{(\lambda + \lambda_1 + \lambda_2) \cdot \mu \cdot \mu_1 \cdot \mu_2 + \lambda^2 \cdot \mu_1 \cdot \mu_2 + \lambda_1^2 \cdot \mu \cdot \mu_2 + \lambda_2^2 \cdot \mu \cdot \mu_1}$$

Otrzymana zależność pozwala określić wpływ przyjętych do realizacji intensywności przeglądów I i II rodzaju na wskaźnik gotowości danego systemu (przy znanej intensywności uszkodzeń, intensywności realizacji przeglądów I i II rodzaju). Jeśli funkcja posiada maksimum, to wyznaczenie odpowiadającej mu wartości współrzędnych jakimi są intensywność przeglądów I i intensywność

przeglądu II rodzaju jest wskazane, ponieważ umożliwi zwiększenie wskaźnika gotowości. Wartości te byłyby wtedy wartościami optymalnymi, zapewniającymi maksymalizację wskaźnika gotowości.

Sprawdźmy zatem czy funkcja posiada maksimum. Obliczmy pochodne funkcji:

$$\frac{dP_{00}}{d\lambda_1} \text{ i } \frac{dP_{00}}{d\lambda_2}$$

$$\frac{dP_{00}}{d\lambda_1} = \frac{\mu \cdot \mu_1 \cdot \mu_2 \cdot [(\lambda + \lambda_1 + \lambda_2) \cdot \mu \cdot \mu_1 \cdot \mu_2 + \lambda^2 \cdot \mu_1 \cdot \mu_2 + \lambda_1^2 \cdot \mu \cdot \mu_2 + \lambda_2^2 \cdot \mu \cdot \mu_1] - (\lambda + \lambda_1 + \lambda_2) \cdot \mu \cdot \mu_1 \cdot \mu_2 \cdot (\mu \cdot \mu_1 \cdot \mu_2 + 2 \cdot \lambda_1 \cdot \mu \cdot \mu_2)}{[(\lambda + \lambda_1 + \lambda_2) \cdot \mu \cdot \mu_1 \cdot \mu_2 + \lambda^2 \cdot \mu_1 \cdot \mu_2 + \lambda_1^2 \cdot \mu \cdot \mu_2 + \lambda_2^2 \cdot \mu \cdot \mu_1]^2} \tag{10}$$

$$\frac{dP_{00}}{d\lambda_2} = \frac{\mu \cdot \mu_1 \cdot \mu_2 \cdot [(\lambda + \lambda_1 + \lambda_2) \cdot \mu \cdot \mu_1 \cdot \mu_2 + \lambda^2 \cdot \mu_1 \cdot \mu_2 + \lambda_1^2 \cdot \mu \cdot \mu_2 + \lambda_2^2 \cdot \mu \cdot \mu_1] - (\lambda + \lambda_1 + \lambda_2) \cdot \mu \cdot \mu_1 \cdot \mu_2 \cdot (\mu \cdot \mu_1 \cdot \mu_2 + 2 \cdot \lambda_2 \cdot \mu \cdot \mu_1)}{[(\lambda + \lambda_1 + \lambda_2) \cdot \mu \cdot \mu_1 \cdot \mu_2 + \lambda^2 \cdot \mu_1 \cdot \mu_2 + \lambda_1^2 \cdot \mu \cdot \mu_2 + \lambda_2^2 \cdot \mu \cdot \mu_1]^2} \tag{11}$$

Warunkiem koniecznym, aby funkcja $P_{00}(\lambda_1, \lambda_2)$ miała ekstremum w punkcie $P_{00}(\lambda_{1optym}, \lambda_{2optym})$ jest, aby pierwsze pochodne cząstkowe funkcji w tym punkcie były równe zeru, tj.:

$$\begin{cases} \frac{dP_{00}}{d\lambda_1}(\lambda_{1optym}, \lambda_{2optym}) = 0 \\ \frac{dP_{00}}{d\lambda_2}(\lambda_{1optym}, \lambda_{2optym}) = 0 \end{cases} \quad (12)$$

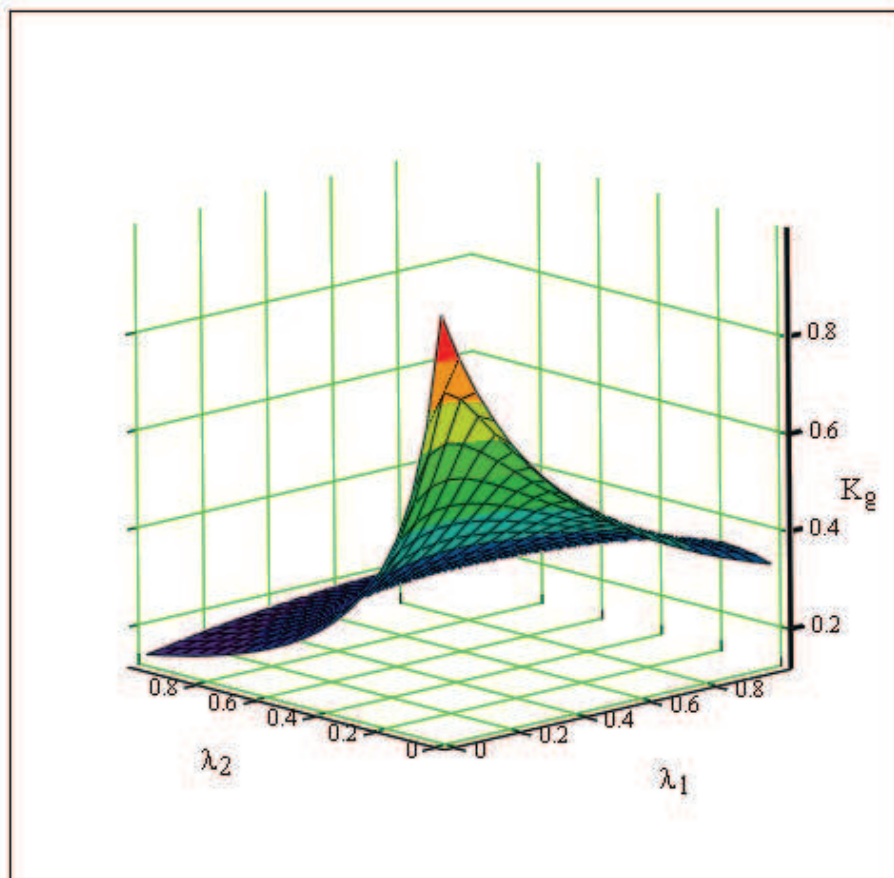
Wyznaczenie analityczne rozwiązania układu równań jest bardzo złożone. Dlatego też zastosowano wspomaganie komputerowe i wykorzystano program Mathcad 2001 Professional. Umożliwia on zobrazowanie graficzne funkcji $P_{00}(\lambda_1, \lambda_2)$. Pozwala to na przybliżone wyznaczenia wartości współrzędnych $(\lambda_{1optym}, \lambda_{2optym})$ odpowiadających maksimum. Zobrazowano to przykładem 1.

Przykład 1

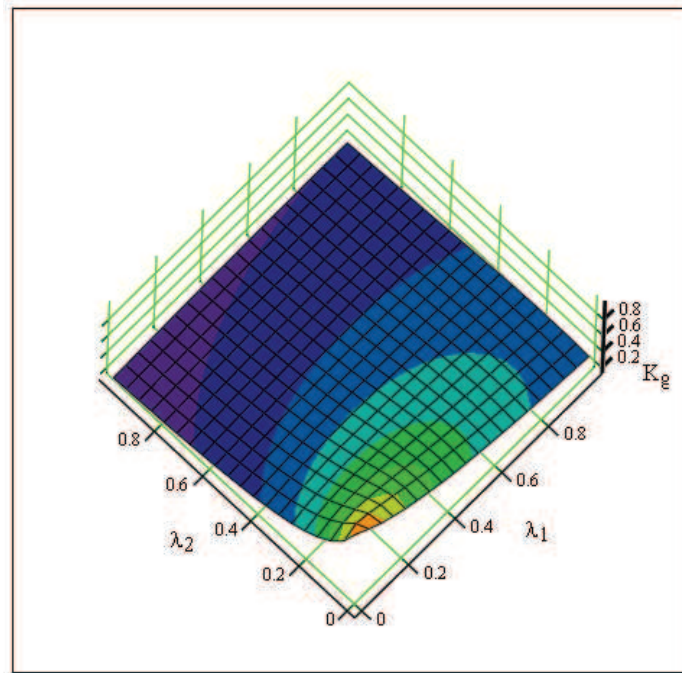
Przyjęto, że:

- intensywność uszkodzeń $\lambda = 1,2027 \cdot 10^{-5} \left[\frac{1}{h} \right]$ (odpowiada to systemowi, którego niezawodność wynosi 0,9),
- intensywność napraw $\mu = 0,0666 \left[\frac{1}{h} \right]$ (odpowiada to czasowi naprawy 15 [h]),
- intensywność realizacji przeglądów I rodzaju $\mu_1 = 0,5 \left[\frac{1}{h} \right]$ (odpowiada to czasowi przeglądu 2 [h]),
- intensywność realizacji przeglądów II rodzaju $\mu_2 = 0,1666 \left[\frac{1}{h} \right]$ (odpowiada to czasowi przeglądu 6 [h]).

Dla tak przyjętych założeń otrzymano wykres, który został przedstawiony na rys. 4 (widok od strony osi poziomych układu współrzędnych) i 5 (widok od „góry”).



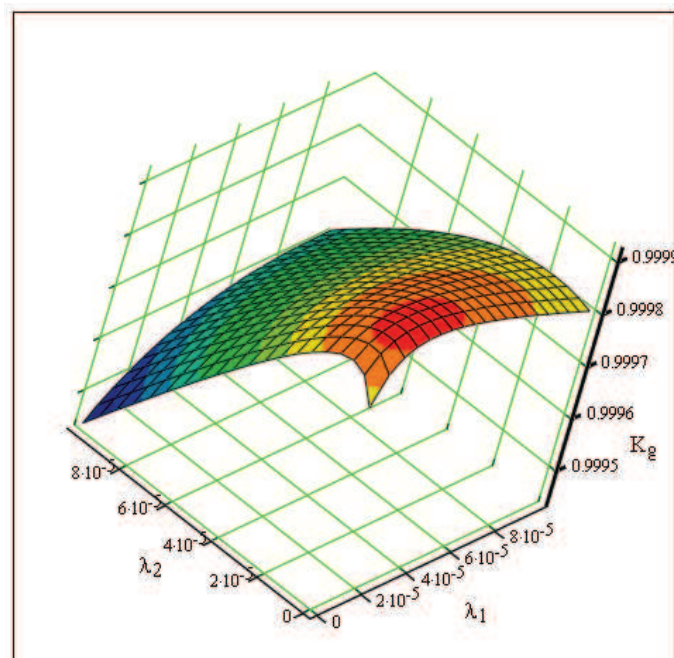
Rys. 4. Zależność wskaźnika gotowości K_g w funkcji intensywności przeglądów I rodzaju λ_1 i intensywności przeglądów II rodzaju λ_2



Rys. 5. Zależność wskaźnika gotowości K_g w funkcji intensywności przeglądów I rodzaju λ_1 i intensywności przeglądów II rodzaju λ_2 (widok z „góry”)

Analizując je można stwierdzić, że wartość wskaźnika gotowości K_g osiąga maksimum dla wartości intensywności przeglądu I i II rodzaju zawartych w przedziale $(0, 0.1)$. Aby precyzyjnie (graficznie) określić wartości poszukiwanych

intensywności niezbędne jest zmniejszenie maksymalnych wartości na osiach poziomych układu współrzędnych. Po analizie przyjęto je jako wartość: $0,0001$. Dla tych warunków otrzymano wykres przedstawiony na rys. 6.



Rys. 6. Zależność wskaźnika gotowości K_g w funkcji intensywności przeglądów I rodzaju λ_1 i intensywności przeglądów II rodzaju λ_2 (dla max. wartości poziomych układu współrzędnych $=0,0001$)

Wartości współrzędnych $(\lambda_{1\text{optym}}, \lambda_{2\text{optym}})$ odpowiadające maksimum są następujące:

$$\lambda_{1\text{optym}} = 2 \cdot 10^{-5} \left[\frac{1}{h} \right]$$

$$\lambda_{2\text{optym}} = 6 \cdot 10^{-6} \left[\frac{1}{h} \right]$$

Zostały one odczytane z rys. 6. Dla tych współrzędnych wartość wskaźnika gotowości jest maksymalna.

3. WNIOSKI

W artykule zaprezentowano metodę optymalizacji przeglądów okresowych, która uwzględnia wybrane własności niezawodnościowe (intensywność uszkodzeń) i eksploatacyjne (intensywność napraw, intensywności realizacji przeglądów). Umożliwia ona wyznaczenie optymalnych intensywności z jakimi powinny się one odbywać. Kryterium optymalizacyjne maksymalizuje wartość wskaźnika gotowości.

W rzeczywistych warunkach pracy transportowych systemów nadzoru przeglądy dokonywane są z różnymi intensywnościami, które nie są wartościami optymalnymi. Wynika to z konieczności poniesienia nakładów finansowych przez właściciela za dokonane przeglądy. Dlatego też rzeczywiste przeglądy tych systemów przeprowadzane są z intensywnościami mniejszymi niż optymalne. W przyszłych badaniach tego zagadnienia zachodzi więc potrzeba określenia zależności pomiędzy intensywnościami przeglądów a wskaźnikiem gotowości przy uwzględnieniu współczynnika nakładów finansowych.

LITERATURA

- [1]. Niziński S.: *Eksploatacja obiektów technicznych*. Wydaw. i Zakł. Poligrafii Inst. Technologii Eksploatacji, Radom 2002.
- [2]. Rosiński A.: *Analiza eksploatacji systemów nadzoru*. Międzynarodowa Konferencja Naukowa - Transport XXI wieku. Warszawa, wrzesień 2004.
- [3]. Rosiński A.: *Analiza niezawodnościowa struktur transportowych systemów nadzoru*. Prace naukowe Politechniki Radomskiej 3(23) 2005, Radom 2005.
- [4]. Szulc W., Rosiński A.: *Problemy eksploatacyjno-niezawodnościowe rozproszonego systemu bezpieczeństwa*. Zabezpieczenia Nr 1 (47)/2006, wyd. AAT, Warszawa 2006 r., str. 80 ÷ 82.



Mgr inż. Adam ROSIŃSKI pracuje na Politechnice Warszawskiej na Wydziale Transportu. Jego zainteresowania naukowe obejmują analizę niezawodnościowo-eksploatacyjną systemów bezpieczeństwa. W dorobku naukowym posiada kilkanaście publikacji naukowo-technicznych z dziedziny bezpieczeństwa. W bieżącym roku przystąpi do obrony rozprawy doktorskiej z zakresu optymalizacji strategii eksploatacji systemów nadzoru.

Praca naukowa finansowana ze środków na naukę w latach 2006/2007 jako projekt badawczy.