

Magda CZYŻEWSKA¹, Julia HERNET², Sebastian KILIMNIK³

**METODA WYZNACZANIA WYMAGANEJ LICZBY
STANOWISK OBSŁUGOWO-NAPRAWCZYCH
W PODSYSTEMIE ZAPEWNIANIA ZDATNOŚCI**

Streszczenie: W złożonych systemach eksploatacji procesy uzdatniania obiektów technicznych realizowane są na specjalnie przeznaczonych do tego celu stanowiskach zaplecza technicznego. Możliwość realizacji przydzielonych zadań obsługowo-naprawczych zależy od gotowości i liczby stanowisk. W artykule przedstawiono metodę wyznaczania liczby stanowisk zaplecza technicznego, wymaganych do prawidłowej realizacji przydzielonego zadania obsługowo-naprawczego. Następnie zaprezentowano przykładowe wyniki obliczeń wykonanych na podstawie danych uzyskanych z badań rzeczywistego systemu eksploatacji środków transportu.

Słowa kluczowe: stanowiska obsługowo-naprawcze, liczba stanowisk, gotowość

1. WPROWADZENIE

Złożone systemy eksploatacji środków transportu dysponują często własnym zapleczem technicznym wyposażonym w odpowiednią liczbę stacjonarnych stanowisk obsługowo-naprawczych. W systemach tego typu realizowane są zarówno procesy odnowy, które dotyczą środków transportu uszkodzonych w trakcie realizacji zadań przewozowych, jak i procesy obsługi i zaopatrzenia (np. w paliwo). W celu zapewnienia prawidłowej realizacji przydzielonych zadań przewozowych konieczne jest utrzymywanie wymaganej liczby środków transportu w stanie gotowości (zdatnych i zaopatrzonych). Ze względu na efektywność działania systemu transportowego niegotowe pojazdy powinny zostać uzdatnione i zaopatrzone w paliwo w możliwie najkrótszym czasie. W analizowanym systemie eksploatacji środków transportu procesy te realizowane są w wydzielonym podsystemie, który może funkcjonować prawidłowo jedynie wówczas, gdy zapewniona jest odpowiednia liczba stanowisk obsługowo-naprawczych.

Spośród wielu metod wspomagających proces analizy i oceny jakości funkcjonowania podsystemów obsługowo-naprawczych zastosowanie znalazły przede wszystkim metody dotyczące modelowania procesów stochastycznych oraz modele teorii obsługi masowej i niezawodności obiektów technicznych [10]. Problematyka sterowania procesami realizowanymi w podsystemach zapewniania zdatności z punktu widzenia kryteriów oceny, takich jak niezawodność oraz gotowość, prezentowana jest w wielu publikacjach naukowych. Dotyczy to zagadnień związanych z wyborem optymalnej strategii (polityki) obsługiwan

¹ inż. Magda CZYŻEWSKA, UTP Bydgoszcz, e-mail: magda.czyzewska@hotmail.com

² mgr inż. Julia HERNET, UTP Bydgoszcz, e-mail: julia.hernet@gmail.com

³ mgr inż. Sebastian KILIMNIK, UTP Bydgoszcz, e-mail: sebastian.kilimnik@gmail.com

i napraw, a także oceny działania podsystemów zapewniania zdatności [1, 3, 6]. Autorzy prac [4, 9] zaproponowali metody kształtowania gotowości stanowisk zaplecza technicznego, natomiast w pracach [7, 8] przedstawiono metody oceny skuteczności i wydajności procesów realizowanych na stanowiskach obsługowo-naprawczych. W pracy [2] przedstawiono metodę określania struktury, jaką mogą być sprzężone stanowiska w systemach obsługi pojazdów, natomiast sposób wyznaczania technicznie uzasadnionej liczby stanowisk obsługowo-naprawczych w systemach transportowych opisano w pracy [5]. W niniejszym artykule przedstawiono metodę wyznaczania liczby stanowisk w podsystemie zapewniania zdatności w sposób, który zapewnia prawidłową realizację zadań obsługowo-naprawczych przydzielonych do realizacji tym stanowiskom.

2. GOTOWOŚĆ POJEDYNCZEGO STANOWISKA W PODSYSTEMIE ZAPEWNIENIA ZDATNOŚCI

W celu wyznaczenia charakterystyk opisujących gotowość pojedynczego stanowiska podsystemu zapewnienia zdatności przyjęto następujące założenia:

1) jeżeli:

X_{ij} oznacza czas zdatności pojedynczego stanowiska w podsystemie zapewnienia zdatności,

Y_{ij} oznacza czas odnowy pojedynczego stanowiska w podsystemie zapewnienia zdatności,

gdzie:

i – numer zespołu stanowisk,

j – numer stanowiska w i -tym zespole,

2) to:

$$V_{ij}(t) = P(X_{ij} < t), i = 1, 2, \dots, p, j = 1, 2, \dots, q_i \quad (1)$$

oznacza dystrybuantę czasu zdatności X_{ij} pojedynczego stanowiska w podsystemie zapewnienia zdatności,

$$W_{ij}(t) = P(Y_{ij} < t), i = 1, 2, \dots, p, j = 1, 2, \dots, q_i \quad (2)$$

oznacza dystrybuantę czasu odnowy Y_{ij} pojedynczego stanowiska w podsystemie zapewnienia zdatności,

3) wówczas:

gotowość pojedynczego stanowiska w podsystemie zapewnienia zdatności, wyznaczana w chwili t , określona jako prawdopodobieństwo tego, że w chwili t stanowisko jest zdadne i zaopatrzone, przedstawiona jest wzorem:

$$G_{ij}(t) = R_{ij}(t) + \int_0^t R_{ij}(t-x) dH_{ij}(x) \quad (3)$$

natomiast gotowość pojedynczego stanowiska w podsystemie zapewnienia zdatności, wyznaczana w przedziale czasu τ , określona jako prawdopo-

bieństwo tego, że w przedziale czasu τ stanowisko jest zdadne i zaopatrzone, przedstawiona jest wzorem:

$$G_{ij}(t, \tau) = R_{ij}(t + \tau) + \int_0^t R_{ij}(t + \tau - x) dH_{ij}(x) \quad (4)$$

gdzie:

$R_{ij}(t)$ – oznacza funkcję niezawodności pojedynczego stanowiska w podsystemie zapewniania zdadności,

$H_{ij}(t)$ – oznacza funkcję odnowy pojedynczego stanowiska w podsystemie zapewniania zdadności.

W przypadku, gdy $t \rightarrow \infty$, funkcje opisane wzorami (3) oraz (4) przyjmują wartości graniczne, nazywane granicznymi współczynnikami gotowości:

$$G_{ij} = \lim_{t \rightarrow \infty} G_{ij}(t) = \frac{E(X_{ij})}{E(X_{ij}) + E(Y_{ij})} \quad (5)$$

$$G_{ij}(\tau) = \lim_{t \rightarrow \infty} G_{ij}(t, \tau) = \frac{1}{E(X_{ij}) + E(Y_{ij})} \cdot \int_{\tau}^{\infty} R_{ij}(x) dx \quad (6)$$

gdzie:

$E(X_{ij})$ – oznacza wartość oczekiwaną czasu zdadności pojedynczego stanowiska w podsystemie zapewniania zdadności,

$E(Y_{ij})$ – oznacza wartość oczekiwaną czasu odnowy pojedynczego stanowiska w podsystemie zapewniania zdadności.

3. GOTOWOŚĆ ZESPOŁU STANOWISK W PODSYSTEMIE ZAPEWNIENIA ZDATNOŚCI

Gotowość pojedynczego zespołu stanowisk w podsystemie zapewniania zdadności zależy w istotny sposób od struktury, jaką sprzężone są poszczególne stanowiska w danym zespole. W artykule przedstawiono wzory opisujące gotowość pojedynczego zespołu stanowisk podsystemu zapewniania zdadności w przypadku, gdy stanowiska rozpatrywanego zespołu sprzężone są strukturą równoległą lub progową.

Gotowość pojedynczego zespołu stanowisk podsystemu zapewniania zdadności sprzężonych strukturą równoległą:

– wyznaczana w chwili t określona jest wzorem:

$$G_i(t) = 1 - \prod_{j=1}^{q_i} [1 - G_{ij}(t)] \quad i = 1, 2, \dots, p \quad (7)$$

– wyznaczana w przedziale czasu τ określona jest wzorem:

$$G_i(t, \tau) = 1 - \prod_{j=1}^{q_i} [1 - G_{ij}(t, \tau)] \quad i = 1, 2, \dots, p \quad (8)$$

W przypadku, gdy $t \rightarrow \infty$, funkcje opisane wzorami (7) oraz (8) osiągają wartości graniczne:

$$G_i = 1 - \prod_{j=1}^{q_i} \left[\frac{E(Y_{ij})}{E(X_{ij}) + E(Y_{ij})} \right] \quad (9)$$

$$G_i(\tau) = 1 - \prod_{j=1}^{q_i} \left[1 - \frac{1}{[E(X_{ij}) + E(Y_{ij})]} \cdot \int_{\tau}^{\infty} R_{ij}(x) dx \right] \quad (10)$$

Gotowość zespołu jednorodnych stanowisk podsystemu zapewniania zdatności sprzężonych strukturą progową „ p_i z q_i ”:

– wyznaczana w chwili t określona jest wzorem:

$$G_i(t) = \sum_{c=p_i}^{q_i} \binom{q_i}{c} \cdot [\overline{G_{ij}(t)}]^c \cdot [1 - \overline{G_{ij}(t)}]^{q_i - c} \quad (11)$$

– wyznaczana w przedziale czasu τ określona jest wzorem:

$$G_i(t, \tau) = \sum_{c=p_i}^{q_i} \binom{q_i}{c} \cdot [\overline{G_{ij}(t, \tau)}]^c \cdot [1 - \overline{G_{ij}(t, \tau)}]^{q_i - c} \quad (12)$$

W przypadku, gdy $t \rightarrow \infty$, funkcje opisane wzorami (11) oraz (12) osiągają wartości graniczne:

$$G_i = \sum_{c=p_i}^{q_i} \binom{q_i}{c} \cdot \left[\frac{E(\overline{X_{ij}})}{E(\overline{X_{ij}}) + E(\overline{Y_{ij}})} \right]^c \cdot \left[\frac{E(\overline{Y_{ij}})}{E(\overline{X_{ij}}) + E(\overline{Y_{ij}})} \right]^{q_i - c} \quad (13)$$

$$G_i(\tau) = \sum_{c=p_i}^{q_i} \binom{q_i}{c} \cdot \left[\frac{1}{[E(\overline{X_{ij}}) + E(\overline{Y_{ij}})]} \cdot \int_{\tau}^{\infty} \overline{R_{ij}(x)} dx \right]^c \cdot \left[1 - \frac{1}{[E(\overline{X_{ij}}) + E(\overline{Y_{ij}})]} \cdot \int_{\tau}^{\infty} \overline{R_{ij}(x)} dx \right]^{q_i - c} \quad (14)$$

4. WYMAGANA GOTOWOŚĆ OPERACYJNA ZESPOŁU STANOWISK PODSYSTEMU ZAPEWNIANIA ZDATNOŚCI

Wymagana gotowość operacyjna i -tego zespołu stanowisk podsystemu zapewniania zdatności do realizacji przydzielonego zadania (uzdatnienia liczby k obiektów technicznych) określona jest jako iloczyn wymaganej gotowości $G_{i_{wym}}^{(k)}(\tau)$ oraz wymaganej wartości wskaźnika wydajności $Z_{i_{wym}}^{(k)}(\tau)$ stanowisk analizowanego zespołu w przedziale czasu τ :

$$G_{O_{wym}}^{(k)}(\tau) = G_{i_{wym}}^{(k)}(\tau) \cdot Z_{i_{wym}}^{(k)}(\tau) \quad (15)$$

gdzie:

$G_{i_{wym}}^{(k)}(\tau)$ – wymagana gotowość i -tego zespołu stanowisk podsystemu zapewniania zdatności w przedziale czasu τ , wyznaczana jako prawdopodobieństwo tego, że w dowolnej chwili t stanowiska tego zespołu będą w stanie gotowości (zdatne i zaopatrzone) i przetrwają w tym stanie przez wymagany przedział czasu τ ,

$Z_{i_{wym}}^{(k)}(\tau)$ – wskaźnik wydajności i -tego zespołu stanowisk podsystemu zapewniania zdatności, wyznaczany jako prawdopodobieństwo tego, że liczba obiektów technicznych uzdatnionych na stanowiskach rozpatrywanego zespołu w przedziale czasu τ wynosi co najmniej k . Sposób wyznaczania $Z_{i_{wym}}^{(k)}(\tau)$ przedstawiono w pracy [9].

Jeżeli zadanie przydzielone stanowiskom i -tego zespołu w podsystemie zapewniania zdatności określone jest wymaganą liczbą k obiektów technicznych, które powinny być uzdatnione w przedziale czasu τ , wówczas wymagana gotowość $G_{i_{wym}}^{(k)}(\tau)$ i -tego zespołu stanowisk opisana jest wzorem poniżej:

$$G_{i_{wym}}^{(k)}(\tau) = \frac{T_{i_{wym}}^{(k)}(\tau)}{T_{i_{wym}}^{(k)}(\tau) + U_{i_{wym}}^{(k)}(\tau)} \quad (16)$$

gdzie:

$T_{i_{wym}}^{(k)}(\tau)$ – wymagany czas gotowości i -tego zespołu stanowisk, dla k i τ ,

$U_{i_{wym}}^{(k)}(\tau)$ – wymagany czas niegotowości i -tego zespołu stanowisk, dla k i τ .

Przyjmując założenie, że dla dowolnego przedziału czasu o długości τ suma wymaganych czasów gotowości i niegotowości i -tego zespołu stanowisk w podsystemie zapewniania zdatności jest równa przedziałowi czasu o długości τ , tzn. $T_{i_{wym}}^{(k)}(\tau) + U_{i_{wym}}^{(k)}(\tau) = \tau$, wówczas wzór (16) można zapisać następująco:

$$G_{i_{wym}}^{(k)}(\tau) = \frac{T_{i_{wym}}^{(k)}(\tau)}{\tau} \quad (17)$$

W powyższym wzorze wymagany czas gotowości $T_{i_{wym}}^{(k)}(\tau)$ i -tego zespołu stanowisk zależy od przewidywanego sumarycznego czasu uzdatniania liczby k obiektów technicznych w przedziale czasu o długości τ oraz od liczby q_i stanowisk rozpatrywanego zespołu, wówczas:

$$T_{i_{wym}}^{(k)}(\tau) = \frac{k \cdot \overline{U_i^{OT}}(\tau)}{q_i} \leq \tau \quad (18)$$

gdzie:

$\overline{U_i^{OT}}(\tau)$ – średni czas przebywania obiektu technicznego na stanowiskach i -tego zespołu w podsystemie zapewniania zdatności (średni czas uzdatniania obiektu technicznego).

W przypadku, gdy $T_{i_{wym}}^{(k)}(\tau) > \tau$, oznacza to, że w przedziale czasu o długości τ , na stanowiskach i -tego zespołu nie jest możliwe uzdatnienie wymaganej liczby k obiektów technicznych.

Ocena gotowości i -tego zespołu stanowisk do realizacji przydzielonego zadania polega na wyznaczeniu gotowości $G_i(\tau)$ tego zespołu, a następnie porównaniu jej z wymaganą gotowością operacyjną $G_{O_{wym}}^{(k)}(\tau)$, jaką rozpatrywany zespół stanowisk powinien mieć, aby przydzielone zadanie zostało prawidłowo zrealizowane, zgodnie z:

$$G_i(\tau) \geq G_{O_{wym}}^{(k)}(\tau), \text{ dla } k = k_{wym}(\tau) \quad (19)$$

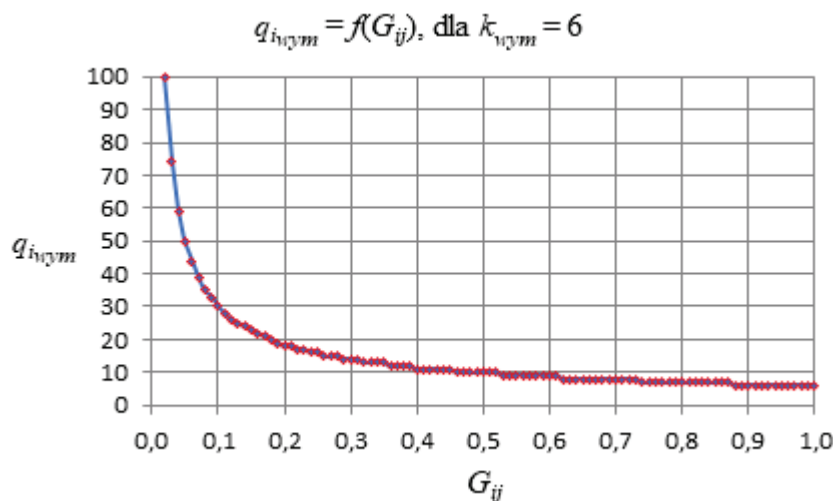
W przypadku gdy gotowość rozpatrywanego zespołu stanowisk jest mniejsza od wymaganej gotowości operacyjnej, tzn. $G_i(\tau) < G_{O_{wym}}^{(k)}(\tau)$, oznacza to, że przydzielone zadanie nie może zostać prawidłowo zrealizowane (w przedziale czasu τ nie jest możliwe uzdatnienie wymaganej liczby $k_{wym}(\tau)$ obiektów technicznych).

5. WYZNACZENIE WYMAGANEJ LICZBY STANOWISK i -TEGO ZESPOŁU

Przy założeniu, że i -ty zespół złożony jest z jednorodnych stanowisk sprzężonych strukturą progową, wówczas wymagana liczba stanowisk do realizacji przydzielonego zadania (uzdatnienia w przedziale czasu τ wymaganej liczby obiektów technicznych k) wyznaczana jest na podstawie następującego warunku:

$$q_i = q_{i_{wym}} \Leftrightarrow G_i(\tau) = \sum_{c=p_i}^{q_i} \binom{q_i}{c} \cdot [G_{ij}]^c \cdot [1 - G_{ij}]^{q_i - c} \geq G_{O_{wym}}^{(k)}(\tau) \quad (20)$$

Na rysunku 1 przedstawiono wartości wymaganej liczby stanowisk w i -tym zespole podsystemu zapewniania zdatności, wyznaczone w zależności od wartości gotowości pojedynczego stanowiska i -tego zespołu oraz wartości parametrów opisujących przydzielone zadanie obsługowo-naprawcze (liczby obiektów uzdatnianych oraz czasu uzdatniania).



Rys. 1. Wymagana liczba stanowisk i -tego zespołu w funkcji gotowości pojedynczego stanowiska, dla $k_{wym} = 6$ oraz $\tau = 3,8$ [h] (opracowanie własne)

Fig. 1. Required number of posts of the i -th group in the functions of availability of individual posts, for $k_{wym} = 6$ and $\tau = 3,8$ [h] (own study)

6. PODSUMOWANIE

Przedstawiona metoda może być zastosowana do oceny gotowości zarówno pojedynczego stanowiska, zespołu stanowisk danego typu sprzężonych określoną strukturą, jak również podsystemu zapewniania zdatności złożonego z różnych rodzajów zespołów stanowisk. Na podstawie przedstawionej metody możliwy jest dobór (wyznaczenie) minimalnej wymaganej liczby stanowisk w zespołach stanowisk podsystemu zapewniania zdatności, w taki sposób, aby zapewnić prawidłową realizację przydzielonych zadań obsługowo-naprawczych. Realizowane jest to na podstawie przyjętego kryterium oceny, gdy gotowość (rzeczywista) zespołu stanowisk jest co najmniej równa wymaganej gotowości operacyjnej tego zespołu, np. dla liczby obiektów uzdatnianych $q_{wym} = 6$, czasu uzdatniania $\tau = 3,8$ [h] i gotowości pojedynczego stanowiska $G_{ij} = 0,6$, wymagana liczba stanowisk i -tego zespołu wynosi $q_{i_{wym}} = 9$ (rys. 1).

LITERATURA

- [1] CHEN D-Y., TRIVEDI K.S.: Closed-form analytical results for condition-based maintenance. Reliability Engineering and System Safety Elsevier, 2002.
- [2] GOŁĄBEK A.: Metoda określania struktury systemu obsługi pojazdu samochodowego. Zagadnienia Eksploatacji Maszyn, 1984.
- [3] KNOPIK L., MIGAWA K.: Optimal age-replacement policy for non-repairable technical objects with warranty. Eksploatacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability, 2017.
- [4] MIGAWA K.: The evaluation of availability of the serviceability assurance subsystem posts. Journal of KONBiN 1(21), 2012.

- [5] OKULEWICZ J., SMALKO Z.: Wyznaczanie technicznie uzasadnionej liczby stanowisk obsługowo-naprawczych. Instytut Transportu Politechniki Warszawskiej, z. 28, 1988.
- [6] PIASECKI S.: Zagadnienia organizacji obsługi technicznej maszyn i środków transportowych. Lubelskie Towarzystwo Naukowe Warszawa – Lublin, 1996.
- [7] SZUBARTOWSKI M.: Efficiency of repairs performed within the emergency repair subsystem of municipal bus transportation system. Journal of KONES Powertrain and Transport 19(3), 2012.
- [8] WOROPAY M., MIGAWA K., BOJAR P.: The model of defining the efficiency of logistics subsystem posts in the transport system. Journal of KONES Powertrain and Transport 17(4), 2010.
- [9] WOROPAY M., ŻUREK J., MIGAWA K.: Model oceny i kształtowania gotowości operacyjnej podsystemu utrzymania ruchu w systemie transportowym. Instytut Technologii Eksploatacji Radom, 2003.
- [10] VAURIO J.K.: On time-dependent availability and maintenance optimization of standby units under various maintenance policies. Reliability Engineering and System Safety Elsevier, 1997.

METHOD OF DETERMINING THE REQUIRED NUMBER OF TECHNICAL BACKUP AREA POSTS

Summary: In complex operation systems, the processes of rendering technical objects roadworthy are carried out at specifically designed technical backup area posts. The possibility of carrying out the assigned service and repair tasks depends on the number of such posts. The article presents the method of defining the number of technical backup area posts required for appropriate functioning of assigned service and repair task. Then typical calculation results are presented in charts prepared on the basis of data obtained from tests at existing transport means operation system.

Key words: service and repair posts, number of posts, availability