59/2009

Raport Badawczy

Research Report

RB/7/2009

Wstęp do teorii eksploatacji obiektów technicznych

S. Piasecki

Instytut Badań Systemowych
Polska Akademia Nauk

Systems Research Institute
Polish Academy of Sciences

POLSKA AKADEMIA NAUK

Instytut Badań Systemowych

ul. Newelska 6

01-447 Warszawa

tel.: (+48) (22) 3810100

fax: (+48) (22) 3810105

Kierownik Pracowni zgłaszający pracę:
dr inż. Jan W. Owsiński

Warszawa 2009

S.Piasecki

WSTĘP DO TEORII EKSPLOATACJI OBIEKTÓW TECHNICZNYCH

Podstawowe założenia teorii

Każdy obiekt techniczny posiada swoje przeznaczenie – zaspokojenie określonych potrzeb społeczeństwa (rynku). Stopień zaspokojenia tych potrzeb zależy od cech użytkowych obiektu technicznego

Każdy (materialny) obiekt techniczny traci z czasem swoje cechy użytkowe. Utrata cech użyteczności obiektu technicznego jest spowodowana:

- procesami zużycia fizykochemicznego, ograniczającymi możliwości spełnienia przez obiekt swojego przeznaczenia
- zmianami wymagań na obiekt, wynikającymi ze zmienności potrzeb rynku.

Procesy zużycia mają charakter kumulatywny w czasie, powodując utratę cech użytkowych obiektu.

Procesy zużycia fizykochemicznego dzielą się na:

- naturalne, których przebieg zależy od czasu i agresywności środowiska w którym obiekt przebywa;
- wymuszone, których przebieg zależy od wielkości wymuszonej „pracy" wykonanej przez obiekt.

Procesy utraty przewagi użytkowej obiektu, względem innych, konkurencyjnych obiektów, wynikające ze zmian wymagań rynku, często nazywane są procesami zużycia „moralnego" lub procesami zużycia „ekonomicznego".

Ciągłe podwyższanie wymagań na obiekty techniczne wynika z ciągłego postępu technicznego umożliwiającego wykonywanie coraz lepszych (coraz lepiej zaspakajających potrzeby rynku) obiektów technicznych.

Równie ciągłe zmiany ekonomicznych warunków gospodarowania, zmieniają opłacalność (celowość) użytkowania obiektu technicznego.

W rezultacie oddziaływania wszystkich wymienionych rodzajów procesów, **każdy obiekt techniczny posiada skończony okres eksploatacji**, który oznaczymy literą T. Wartość okresu eksploatacji T wyznacza najmniejsza wartość, następujących okresów eksploatacji:

T_N – czasu zużycia naturalnego
T_E – technicznego czasu eksploatacji
T_M – czasu zużycia „moralnego"
T_0 – czasu opłacalnej eksploatacji

- O wartości okresu T_N, zużycia naturalnego decyduje agresywność środowiska w którym przebywa obiekt, przyśpieszająca starzenie się elementów obiektów. Utrata wytrzymałości i(lub) wartości innych cech gwarantujących „normalne" działanie obiektu wyznacza wartość T_N.
- O wartości czasu eksploatacji T_E obiektu decyduje **intensywność λ użytkowania obiektu** (zwana też natężeniem użytkowania obiektu) i ewentualnie, **suma τ czasów przestoju** obiektu (suma czasów niemożliwości użytkowania obiektu).

Intensywność użytkowania, oznaczona symbolem $\lambda(t)$ jest miarą chwilowego (w chwili t) obciążenia „pracą" obiektu, od którego to obciążenia zależy np. prędkość ścierania się pierścieni łożysk i(lub) prędkość narastania zmęczenia materiału itp.

W rezultacie, dla każdego obiektu technicznego możemy określić ilość pracy jaką obiekt może wykonać w czasie jego eksploatacji. Wielkość tą będziemy nazywali **„resursem" lub „żywotnością" obiektu,** oznaczając symbolem Z. Między intensywnością użytkowania obiektu charakteryzującą chwilowe obciążenie „pracą" obiektu a **stopniem**

zużycia obiektu $L(t)$ zwanego niekiedy „napracowaniem", jest podobna zależność jak między siłą a pracą lub mocą a energią. Mianowicie:

$$L(t) = \int_0^t \lambda(x)dx$$

Z powyższej zależności, otrzymamy równanie na wartość T_U :

$$Z = \int_0^{T_U} \lambda(t) \cdot dt$$

Wielkość T_U jest sumarycznym czasem użytkowania (pracy) obiektu.

Jeżeli intensywność użytkowania λ, ma wartość stałą w czasie użytkowania obiektu, to wzór:

$$T_U = \frac{Z}{\lambda}$$

wyznacza czas użytkowania T_U obiektu. Czas ten jest sumą wszystkich odcinków czasu użytkowania obiektu, które zwykle są poprzedzielane czasami postoju obiektu, gdy nie jest on użytkowany.

Jeżeli do wielkości T_U dodamy wartość τ to otrzymamy wartość okresu eksploatacji obiektu:

$$T_E = T_U + \tau = T_E = \frac{Z}{\lambda} + \tau$$

gdzie λ jest intensywnością użytkowania obiektu a Z jest wspomnianym resursem obiektu, który jest miarą trwałości obiektu.

Zauważmy, że wielkość T_E nie jest miarą trwałości obiektu gdyż zależy od intensywności użytkowania obiektu oraz od wielkości τ sumy czasów przestojów obiektu (sumy odcinków czasu w których obiekt nie jest lub nie może być użytkowany).

W przedstawionym tu rozumowaniu założyliśmy, że **zużycie obiektu technicznego jest proporcjonalne do wielkości obciążenia „pracą".** Oczywiście może być wybrana inna wielkość, do wartości której proporcjonalne jest zużycie obiektu. Np. dla lufy armatniej może to być liczba wystrzałów.

W celu umożliwienia ustalenia stopnia zużycia obiektu koniecznym staje się ustalenie **miernika ilości wykonanej „pracy".**

W szczególności dla samochodów przyjęto, że miernikiem pracy jest liczba przebytych przez samochód kilometrów. W przypadku silników - jest to liczba przepracowanych godzin. W przypadku budynków i budowli - przyjmuje się wiek obiektu itp.

Znając wartość trwałości Z (określające pośrednio dopuszczalne zużycie obiektów) możemy wyznaczyć chwilę wycofania obiektu z eksploatacji. Wartości Z są zwykle ustalane ze względu na bezpieczeństwo użytkowania obiektu.

Zwróćmy uwagę, że w przypadku eksploatacji takich obiektów jakimi są budynki i budowle ustala się bezpośrednio wartość T_E , to jest dopuszczalny wiek eksploatowanego obiektu. W tym przypadku traci sens posługiwanie się pojęciem intensywności użytkowania obiektu (intensywność wtedy, formalnie jest jednością).

Zakres teorii eksploatacji

W każdym obiekcie technicznym składającym się z więcej aniżeli jednej części, możemy wyróżnić elementy konstrukcyjne różniące się szybkością zużywania. Podczas analizy procesu zużywania się obiektu, można znaleźć **w obiekcie elementy (części) których trwałość jest znacznie mniejsza od innych.** W takiej sytuacji ta część która najszybciej się zużywa musiała by wyznaczać trwałość całego obiektu. Wynika to z faktu, że obiekt techniczny jest zbudowany w pewnym celu, w sposób najbardziej ekonomiczny (oszczędny) a więc nie posiada niepotrzebnych części (elementów).

Ale wycofanie z eksploatacji całego obiektu gdy tylko jedna jego część (element) zużyła się, byłoby oczywistym marnotrawstwem, zaprzeczeniem zasady oszczędności.

W związku z tym, **celowym jest wymieniać szybciej zużywające się części (na nowe) aby można było dalej użytkować obiekt**. W ten sposób powstały **procedury przedłużania okresu użytkowania obiektu** oraz obszerny dział teorii eksploatacji o projektowaniu takich procedur mających na celu zapewnienie najbardziej ekonomicznego procesu eksploatacji obiektu.

Takie postępowanie jest w pełni uzasadnione, w sytuacji gdy jest utrudniona konstrukcja obiektu, który musiałby składać się z wielu elementów o takiej samej trwałości.

Przyjęcie takiego rozwiązania powoduje rozległe konsekwencje w obszarze zainteresowań teorii eksploatacji obiektów technicznych. Mianowicie, konieczność realizacji różnego rodzaju obsług (napraw, przeglądów, remontów itp.), rozszerzyło zakres teorii o problematykę odpowiedniego doboru realizatorów tych obsług. W tej sytuacji **teoria eksploatacji obiektów nie może się ograniczyć tylko do analizy procesów zużycia ale musi także podjąć problematykę technologii i organizacji realizacji obsług przedłużających okres eksploatacji obiektu**

Fakt ten, niestety, nie w pełni dotarł do świadomości zbiorowej konstruktorów. Często zapomina się, że efekty eksploatacji obiektu w równej mierze zależą od jego cech konstrukcyjnych jak i od cech procesów obsługi - odnowy technicznej obiektu.

Przez trwałość obiektu, jako pewnej całości, rozumie się, w tych okolicznościach , dopuszczalny stopień zużycia najtrwalszego elementu obiektu, pod warunkiem przestrzegania procedur obsługi technicznej a w tym wymian odpowiednich elementów o mniejszej trwałości. Dotyczy to zarówno takich obiektów jakimi są zarówno budynki jaki np. samoloty. W szczególności w samolotach mogą być wielokrotnie wymieniane silniki (na nowe lub po remoncie) a o trwałości samolotu decyduje trwałość płatowca, którego zużycie postępuje wraz z narastającym zmęczeniem konstrukcji płatowca.

Suma czasów niezbędnych na wykonanie wszystkich obsług technicznych (zgodnie z wymaganą procedurą) które przerywają możliwość użytkowania obiektu, określa czas niezbędnych przestojów technicznych obiektu. Czas ten wraz z sumą czasów przestojów wynikłych z innych (organizacyjnych) przyczyn wyznaczają wspomnianą wartość τ.

Należy zwrócić tu uwagę na jeszcze jedno istotne pojęcie.

Mianowicie, występująca w wyrażeniach wielkość zwana „czasem", może mieć różną interpretację. Mianowicie pod pojęciem czasu możemy rozumieć czas użytkowania, zwany też czasem „pracy" obiektu. Czas ten zwykle mierzy się w godzinach pracy lub dniach pracy. Możemy też pojęcie czasu rozumieć jako miejscowy czas kalendarzowy który mierzymy w godzinach zegarowych, dobach, lub latach kalendarzowych itp. Różnica między tymi czasami jest ogromna. Wystarczy zauważyć, że gdy obiekt jest użytkowany („pracuje") np. tylko dwie godziny na dobę, wtedy dziesiąta godzina pracy obiektu przypadnie na sto-dwudziestą godzinę zegarową.

I tak, na przykład, zwykle intensywność użytkowania określa się w godzinach pracy na dobę (zegarową) dla obiektów których trwałość Z mierzy się w godzinach pracy (tak np. jak dla silników). Wtedy okres użytkowania T_U będzie określony w dobach zegarowych. Jeżeli do tego okresu dodamy tylko czas przestojów technicznych, też wyrażony w dobach zegarowych, to minimalny czas T_E eksploatacji obiektu także będzie wyrażony w dobach zegarowych. Jeżeli jednak, dla obiektu określone są tylko pracochłonności poszczególnych obsług technicznych (tak bywa najczęściej), to musimy umieć przeliczyć pracochłonności obsług określone w roboczogodzinach, na czasy trwania obsług wyrażone w dobach zegarowych. Ale sposób takiego przeliczenie zależy od organizacji pracy w warsztatach obsługi.

W innym przypadku, gdy trwałość Z obiektu (np. samochodu) wyrażona jest maksymalnym przebiegiem w kilometrach, to także intensywność użytkowania jest wyrażana w kilometrach przebiegu na godzinę/dzień pracy. Czy wtedy wartość τ ma być wyrażona w dniach pracy: warsztatu obsługi technicznej pojazdów? czy w godzinach/dniach pracy obiektu? Oczywiście, w godzinach/dniach pracy obiektu! Jeżeli obiekt jest użytkowany (pracuje) dwie godziny dziennie a naprawa obiektu zajmuje czternaście godzin to przy 8-godzinnym dniu pracy warsztatu, naprawa potrwa 1+3/4 dnia, a czas stracony, (z punktu widzenia użytkownika obiektu) na obsługę, jest równy τ=3+1/2 godzinom pracy obiektu. Gdyby zaś naprawa trwała 7 dni roboczych, przy ciągłej pracy warsztatu (7dni w tygodniu) a obiekt byłby użytkowany tylko w dni robocze (5 dni w tygodniu) to czas stracony na naprawę obiektu (ż punktu widzenia użytkownika) byłby równy pięciu dniom roboczym.

Natomiast gdyby warsztat mógł wykonać całą obsługę w nocy, to czas trwania tej obsługi liczony w godzinach pracy obiektu (lub dniach pracy obiektu), byłby równy zeru!

Innym rodzajem trudności na którą możemy napotkać przy wyznaczaniu wartości τ_{min} jest losowość chwil występowania uszkodzeń oraz czasów trwania obsług mających na celu usunięcie przypadkowych uszkodzeń obiektu. W celu pokonania tych trudności musimy posłużyć się teorią masowej obsługi i statystyką. W najgorszym przypadku możemy posłużyć się wartościami oczekiwanymi wielkości losowych.

Zauważmy także, iż często wykorzystywane pojęcie dyspozycyjności η obiektu, określane ilorazem:

$$\eta = \frac{T_U}{T_E} = \frac{T_U}{T_U + \tau} = \frac{Z}{Z + \lambda \cdot \tau}$$

którego składowe muszą spełniać warunek współmierności czasów, natrafia na te same trudności. W rozważanym przypadku eksploatacji samochodu, iloczyn $\lambda \cdot \tau$ musi mieć oczywiście wymiar kilometrów. Wynika wiec stąd, że jeżeli λ jest wyrażone np. w przebytych kilometrach na dobę to czas τ tracony przez użytkownika na wykonywanie wszystkich obsług technicznych przy ciągłym, całodobowym użytkowaniu samochodu, musi być także wyrażony w dobach. I tak, na przykład, jeżeli obsługi zajmują ogółem dwanaście dni roboczych pracy warsztatu (zakładając dziennie osiem godzin roboczych w dniu roboczym i pięć dni roboczych w tygodniu) to samochód będzie niedostępny dla użytkownika w ciągu szesnastu dób! Jeżeli dobowy średni przebieg samochodu jest np. 1100 km/dobę to wartość iloczynu $\lambda\ \tau$ (straconych kilometrów) będzie równa 17600 km.

Przy wyznaczaniu wartości η dla danego rodzaju obiektów, pewną dodatkową trudność może nastręczać wyznaczenie części składowej wartości τ - sumy tych odcinków czasowych w których obiekt nie jest wykorzystywany z powodów organizacyjnych (np. chwilowym brakiem zadań do wykonania) lub przyczyn technicznych (np. koniecznością wykonania naprawy obiektu).

Zastanówmy się następnie, dlaczego zależy nam na maksymalizacji wartości współczynnika η ?

Na przykład, jeżeli dla wykonania zadania musimy zapewnić ciągłą pracę N_U obiektów to zakupić musimy więcej obiektów a mianowicie:

$$N_E = \frac{N_U}{\eta}$$

a wiec im większa jest wartość η tym mniej potrzeba obiektów do wykonania zadania. Istotna jest więc dla nas informacja jak wysoką wartość może osiągać współczynnik η.

Najwyższą wartość η osiągniemy wtedy gdy τ osiągnie wartość minimalną τ_{min} określoną sumą technologicznych czasów trwania ciągu wszystkich obsług technicznych którym podlega obiekt w czasie (T_E) całej eksploatacji. Jest zrozumiałym fakt, że czas ten zależy zarówno od konstrukcji obiektu jak i technologii oraz organizacji wykonywania obsług. Wielce pouczającym jest tu przykład czasu wymiany zużytego silnika w samochodach wyścigowych w czasie trwania wyścigu, który mierzy się w sekundach!

Dążenie do osiągania wysokich wartości η jest uzasadnione faktem, że im jest wyższa jego wartość, tym większy jest rozmiar zadań (tym większą ilość pracy) obiekt może wykonać w całym czasie eksploatacji:

$$\lambda \cdot T_E \cdot \eta$$

W szczególności, jeżeli eksploatujemy park jednakowych obiektów o liczności N_E to wielkość (rozmiar) pracy P, które park może wykonać będzie określony wzorem:

$$P = N_E \cdot \lambda \cdot T_E \cdot \eta$$

Niektóre wyniki teorii

Zwróćmy uwagę, iż rozmiar prac które park obiektów może wykonać możemy wyznaczyć także w inny sposób.

Mianowicie oznaczając symbolem N_U średnią liczbę obiektów użytkowanych (pracujących) w sposób ciągły, przy tym: $N_U < N_E$, możemy rozmiar prac które może wykonać park obiektów wyrazić iloczynem:

$$P = N_U \cdot \lambda \cdot T_E \quad \text{gdzie} \quad N_U = N_E \cdot \eta$$

Równość tak obliczonych wartości P wynika z równości współczynników dyspozycyjności:

$$\eta = \frac{T_U}{T_E} \quad \text{oraz} \quad \eta = \frac{N_U}{N_E}$$

Równość wartości tych ostatnich wielkości zachodzi wtedy gdy **proces eksploatacji parku obiektów posiada własność ergodyczną**, co w naszym przypadku oznacza że park winien składać się z jednakowych (statystycznie) obiektów a proces ich eksploatacji winien być stacjonarny (nie podlegający systematycznym zmianom w czasie).

Dalej założymy, że proces eksploatacji jednorodnego parku obiektów ma charakter stacjonarny w czasie a więc że zużyte obiekty są ciągle zastępowane nowymi tak, że liczba eksploatowanych obiektów N_E jest stała. Wtedy mamy:

$$\frac{T_U}{T_E} = \frac{N_U}{N_E} \quad \text{lub} \quad N_U = N_E \cdot \frac{T_U}{T_E}$$

Dotychczas milcząco zakładaliśmy, że warsztat (wykonujący obsługi techniczne obiektów należących do naszego parku) nie tylko dysponuje odpowiednią technologią napraw ale także dysponuje odpowiednimi „mocami przerobowymi" pozwalającymi wykonywać w terminie wszystkie obsługi.

Zauważmy, że w przypadku eksploatacji wielkiej ilości obiektów dotychczas wspomniany skromny warsztat obsługi może przemienić się w system obsługi technicznej. Przy tym, pod pojęciem **systemu obsługi technicznej** będziemy rozumieli funkcjonalną jednostkę (lub zespół jednostek) gospodarczą przeznaczoną do wykonywania niezbędnych rodzajów obsług technicznych (napraw, przeglądów, remontów itp.) jakie przewidują **procedury eksploatacji** obiektów.

Dalej założymy, że moc przerobowa naszego systemu obsługi jest skończona i określona wartością rocznego przerobu B [zł/rok], który (inaczej mówiąc) jest maksymalnym, rocznym przychodem systemu, uzyskanym za wykonanie obsług eksploatowanych obiektów.

Jednocześnie, symbolem b [zł] oznaczymy sumaryczny koszt wykonania kompletnego ciągu wszystkich, zgodnych z procedurą, normatywnych obsług technicznych obiektu, w

całym okresie jego eksploatacji T_E . Wtedy niezbędna wartość α obsług które winien wykonać system obsługi w ciągu roku będzie równa:

$$\alpha = b \cdot \frac{N_E}{T_E} \quad \text{[zł/rok]}$$

Nietrudno zauważyć, że jeżeli: $B > \alpha$, to system obsługi będzie miał okresy przestojów z powodu braku obiektów żądających wykonania obsług.

Jeżeli natomiast: $B < \alpha$, to obiekty będą oczekiwały w kolejce na wykonanie obsług, co spowoduje, że technologiczny czas wykonania obsług τ_{min} powiększy się o czas γ oczekiwania na obsługę, tak że:

$$\tau = \tau_{min} + \gamma$$

Wtedy czas eksploatacji obiektu T_E będzie wyznaczony z równości:

$$B = b \cdot \frac{N_E}{T_E} \quad \text{a stąd:} \quad T_E = N_E \cdot \frac{b}{B}$$

Ale ,jak wiemy,

$$N_U = N_E \cdot \frac{T_U}{T_E}$$

więc podstawiając T_E oraz $T_U = \frac{Z}{\lambda}$ otrzymamy:

$$N_U = N_E \cdot \frac{\frac{Z}{\lambda}}{N_E \cdot \frac{b}{B}} = \frac{Z}{\lambda} \cdot \frac{B}{b} \qquad \text{dla } B < \alpha \qquad \left(\text{lub } \frac{B}{b} < \frac{N_E}{\frac{Z}{\lambda} + \tau_{min}}\right)$$

Ogólnie więc otrzymamy:

$$N_U = \left\{ \begin{array}{ll} N_E \cdot \frac{Z}{\lambda} & \text{dla } \frac{B}{b} < \frac{N_E}{\frac{Z}{\lambda} + \tau_{min}} \\ \hline \frac{Z}{\lambda} + \tau_{min} & \text{w przeciwnym przypadku} \end{array} \right\}$$

oraz :

$$\Lambda = \lambda \cdot N_U = \left\{ \begin{array}{ll} \frac{N_E \cdot Z}{\frac{Z}{\lambda} + \tau_{min}} & \text{dla } \frac{B}{b} > \frac{N_E}{\frac{Z}{\lambda} + \tau_{min}} \\ \hline \frac{B}{b} \cdot Z & \text{w przeciwnym przypadku} \end{array} \right\}$$

Wielkość Λ określa intensywność użytkowania całego parku eksploatowanych obiektów

Zauważmy, że jeżeli zachodzi nierówność:

$$\frac{B}{b} < \frac{N_E}{\frac{Z}{\lambda} + \tau_{min}}$$

to, w przypadku gdy λ jest wyrażone w godzinach pracy obiektu na rok, roczny rozmiar pracy jaki możemy uzyskać eksploatując park obiektów o liczności N_E całkowicie nie zależy od liczności tego parku! Podobnie nie zależy także od wartości λ!

Wynik ten możemy uznać jako podstawowe, nie trywialne twierdzenie teorii eksploatacji:

Intensywność ciągłej eksploatacji parku obiektów o liczności N_E nie może przekroczyć wartości $\frac{B}{b} \cdot Z$, niezależnie od wartości N_E oraz λ.

Zauważmy następnie, że o procesie eksploatacji obiektu decydują **trzy elementy układu eksploatacji** a mianowicie: zadanie które obiekty mają realizować, cechy parku obiektów i cechy systemu obsługi.

Opis charakterystyk układu eksploatacji parku obiektów ma więc następującą strukturę.

ZADANIE parku eksploatowanych obiektów jest opisane parą: N_U, λ .

PARK OBIEKTÓW jest scharakteryzowany trójką: N_E , Z, b .

SYSTEM OBSŁUGI jest scharakteryzowany parą: τ_{min} , B .

Wszystkie te trzy elementy winny być wzajemnie dopasowane, **winny tworzyć harmonijną całość.**

Z punktu widzenia inżynierskiego projektowania, błędem byłoby takie zaprojektowanie w którym występowałoby: bądź oczekiwanie obiektów na wykonanie obsług, bądź oczekiwanie systemu obsługi na zgłoszenia obiektów do obsługi.

Potrzeby obsługowe i możliwości przerobowe systemu winny więc być zharmonizowane.

W teorii eksploatacji obiektów precyzuje się warunki konieczne, które muszą spełniać elementy racjonalnego układu eksploatacji.

Mianowicie, **warunkiem harmonizacji działania układu eksploatacji obiektów jest spełnienie układu równości:**

$$\mu = \frac{N_E}{\frac{Z}{\lambda} + \tau_{min}} = \frac{N_U}{\frac{Z}{\lambda}}$$

Występująca w równaniach wielkość

$$\mu = \frac{B}{b}$$

określa ile system obsługi może rocznie obsłużyć obiektów, gdyby dla każdego obiektu musiał w ciągu roku wykonać wszystkie obsługi przewidziane w całym okresie jego eksploatacji. W tym sensie wielkość μ możemy nazwać uogólnioną wydajnością systemu obsługi.

W rezultacie, np. jeżeli wykonanie zadania wymaga ciągłego użytkowania N_U obiektów o trwałości Z, które będą użytkowane z intensywnością λ przy dysponowanej technologii obsług zapewniającej ich realizację w czasie τ_{min} , to powinniśmy posiadać:

$$N_E = N_U \cdot \left(1 + \frac{\lambda \cdot \tau_{min}}{Z}\right)$$

obiektów oraz dysponować systemem obsługi technicznej obiektów o wydajności:

$$\mu = N_U \cdot \frac{\lambda}{Z}$$

Jeżeli chcielibyśmy dodatkowo utrzymywać współczynnik dyspozycyjności η na zadanym poziomie to powinniśmy posiadać:

$$N_E = \frac{N_U}{\eta}$$

obiektów oraz dysponować systemem obsługi o charakterystykach:

$$\mu = N_U \cdot \frac{\lambda}{Z} \qquad \tau_{\min} = \frac{Z}{\lambda} \cdot \left(\frac{1}{\eta} - 1 \right)$$

Oczywiście, w praktyce możemy spotkać się z różnymi sytuacjami, których nie będziemy tu opisywać.

I ponownie niezbędna jest uwaga dotycząca sytuacji gdy chwile zapotrzebowań na obsługi oraz zakresy obsług są wielkościami losowymi.

Mianowicie osiągnięcie takiej idealnej równowagi między możliwościami systemu obsługi i potrzebami na usługi nie jest możliwe gdy mamy do czynienia z procesami stochastycznymi. Okazuje się wtedy, że jednocześnie występują przestoje zarówno systemu obsługi jak i przestoje obsługiwanych obiektów. W takim przypadku, dobierając wartość μ możemy zmieniać proporcje przestojów systemu obsługi do przestojów eksploatowanych obiektów w zależności od proporcji kosztów realizacji obsług jakie generuje system i strat spowodowanych niewykorzystaniem możliwości wykonawczych parku obiektów .

W rezultacie, **teoria eksploatacji uzupełniona elementami ekonomii umożliwia projektowane optymalnych systemów eksploatacji, które zapewniają ekonomicznie najlepsze efekty wykorzystania obiektów w działalności gospodarczej.**

Zapewnia też możliwość konstruowania najlepszych obiektów z uwzględnieniem warunków działania systemu obsługi technicznej w danych warunkach ekonomicznych. Zapobiega to bezkrytycznemu przenoszeniu rozwiązań optymalnych uzyskanych dla ustalonego obszaru geograficznego na obszary o całkowicie odmiennych warunkach.

Temat wykorzystania wyników teorii eksploatacji obiektów technicznych do projektowania optymalnych obiektów oraz układów eksploatacji nie będę dalej rozwijał, odsyłając Czytelnika do moich oraz moich doktorantów prac z zakresu teorii eksploatacji..