

ZARYS METODY OKREŚLANIA PRAWDOPODOBIEŃSTWA ZDATNEJ PRACY URZĄDZENIA W ASPEKCIE ZMIAN WARTOŚCI PARAMETRU DIAGNOSTYCZNEGO

THE OUTLINE OF THE METHOD OF DETERMINING THE PROBABILITY OF PRACTICAL DEVICE OPERATION WHEN CHANGING DIAGNOSTIC PARAMETER VALUES

W artykule przedstawiono zarys metody określania prawdopodobieństwa zdatnej pracy urządzenia w oparciu o analizę i analityczny opis zmian wartości parametru diagnostycznego w trakcie trwania procesu eksploatacji. Metoda opracowana została w oparciu o równanie różnicowe opisujące dynamikę tychże zmian, dla którego znaleziono rozwiązanie w postaci funkcji gęstości prawdopodobieństwa.

Słowa kluczowe: parametr diagnostyczny, prawdopodobieństwo zdatnej pracy, system nawigacyjno-celowniczy.

Presented in this article is the outline of determining the probability of practical device operation based on the analysis and analytical specification of changes in diagnostic parameter values during usage. The method was elaborated based on a difference equation describing the dynamics of these changes for which a solution in the form of a probability density function was found.

Keywords: diagnostics parameter, probability of practical device operation, navigation and aiming system.

I. Wstęp

Jednym z powszechnie występujących zjawisk w okresie eksploatacji urządzeń technicznych jest odchylenie się wraz z upływem czasu wartości parametrów charakteryzujących dane urządzenie od ich wartości nominalnych, odpowiadających chwili zakończenia procesu regulacji na etapie produkcji. Powstałe odchylenie wartości wspomnianych parametrów w głównej mierze występują na skutek oddziaływania różnego rodzaju przyczyn wywołujących efekt starzeniowy urządzeń, które kumulując się powodują wytworzenie efektu odpadowego.

Istnieje szereg urządzeń na które, z uwagi na realizowane funkcje, nałożone są szczególnie wysokie wymagania związane z dokładnością ich funkcjonowania. Do grupy tej z pewnością można zaliczyć urządzenia z tzw. „techniki lotniczej”. Wypracowany przez nie efekt użytkowy można rozpatrywać w różnych aspektach, odnoszących się m.in. do bezpieczeństwa, skuteczności zastosowania, czy też w aspekcie ekonomicznym. Dlatego też, z uwagi na powyższe, prace mogące przyczynić się do usprawnienia procesu eksploatacyjnego są nader istotne.

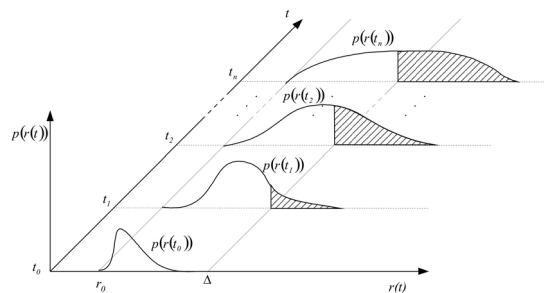
1. Introduction

One of the common occurrences that take place during the usage of devices is the deviation of parameter values during the lapse of time that characterize the given device from their nominal values that correspond with the moment of finishing the regulation process at the production stage. The formed deviation of the mentioned values takes place mainly due to the impact of various causes of the aging effect of devices, which when cumulated cause a “debris” effect.

Many existing devices are placed with particularly high requirements involving their precise operation due to their important role. The so-called “aeronautical engineering” devices can surely be included in this group. The elaborated usage effect of this group can be examined in different aspects, in relation, for example, to safety, application effectiveness or also in the economical aspect. This is also why studies that can help improve the operation process are very important.

2. Zarys metody określania prawdopodobieństwa zdatnej pracy urządzenia w aspekcie zmian wartości parametru diagnostycznego

Występowanie efektu odpadowego ma charakter losowy zależny od czasu i wpływa na wynik końcowy pracy systemu. Efekt ten określany jest też mianem „błędu aparaturowego”. Błąd zupełny systemu przebywającego w systemie obsługi $r(t)$, którego składową jest błąd aparaturowy, można scharakteryzować przy pomocy jednowymiarowego rozkładu funkcji gęstości prawdopodobieństwa $p(r(t))$ dla dowolnej chwili $t \in (t_0, t_0 + t_i)$ (rys. 1). Chwila t_0 odpowiada przekazaniu systemu do eksploatacji.



Rys. 1. Rodzina funkcji $p(r(t_n))$ opisująca właściwości dotyczące dokładności systemu w funkcji czasu eksploatacji
 Rys. 1. Function family $p(r(t_n))$ describing system's accuracy characteristics depending on Rusing time

Ponieważ proces $r(t)$ ma charakter niestacjonarny, zatem można spodziewać się, iż wraz z upływem czasu nastąpi wzrost błędu zupełnego, dlatego też należy nałożyć na jego charakterystykę probabilistyczną określony poziom dokładności, co można zapisać w postaci poniższej zależności [3]:

$$P[r(t) > \Delta, t \in (t_0, t_0 + t_i)] \leq \zeta \quad (1)$$

gdzie: $P[r(t) > \Delta]$ – prawdopodobieństwo przekroczenia przez błąd zupełny systemu wartości dopuszczalnej Δ ; $r(t)$ – zmienna losowa charakteryzująca błąd zupełny; Δ – tolerancja błędów; ζ – ustalona (przyjęta) wartość graniczna prawdopodobieństwa przekroczenia przez $r(t)$ wartości Δ .

Krzywe przedstawiające funkcje gęstości prawdopodobieństwa $p(r(t_0)), p(r(t_1)), \dots, p(r(t_n))$ zmiennej losowej $r(t)$ odpowiadają różnym chwilom t_0, t_1, \dots, t_n . Z kolei pola zakreskowane powierzchni równe są liczbowo prawdopodobieństwu:

$$P(t) = P[r(t) > \Delta] = \int_{\Delta}^{\infty} p(r(t)) dr \quad (2)$$

przekroczenia przez błąd zupełny systemu wartości dopuszczalnej (tolerancji) Δ w danej chwili. Określenie zatem prawdopodobieństwa $P(t)$ sprowadza się do wyznaczenia funkcji gęstości $p(r(t))$.

Identyfikację zmian wartości parametru diagnostycznego w niniejszym opracowaniu dokonano na przykładzie głowicy celowniczej wojskowego

2. The outline of the method of determining the probability of practical device operation when changing diagnostic parameter values

The occurrence of a waste effect is random. It depends on time. It affects the final result of the system operation. This effect is also called ‘the error of the apparatus’. The absolute error of the system that is in the system of service $r(t)$ whose element is the error of the apparatus, can be characterized by a one-dimensional arrangement of the probability density function $p(r(t))$ for any moment $t \in (t_0, t_0 + t_i)$ (illustration 1). The moment t_0 corresponds to the handover of the system to using.

The process $r(t)$ is not stationary. That is why, we can assume that while the time is passing, there will be the increase in the absolute error. So, we must add a defined level of accuracy to its probabilistic characteristic, which can be written down by below interdependence [3]:

$$P[r(t) > \Delta, t \in (t_0, t_0 + t_i)] \leq \zeta \quad (1)$$

where: $P[r(t) > \Delta]$ – the probability of the exceeding the system of admissible value Δ by the absolute error; $r(t)$ – random variable that characterize the absolute error; Δ – a tolerance of an error; ζ – a fixed (accepted) boundary value of the probability of exceeding the value Δ by $r(t)$.

The curves that present the probability density function $p(r(t_0)), p(r(t_1)), \dots, p(r(t_n))$ of the random variable $r(t)$ correspond to different moments t_0, t_1, \dots, t_n . In turn, the lined fields of the area are equal in numbers to the probability:

$$P(t) = P[r(t) > \Delta] = \int_{\Delta}^{\infty} p(r(t)) dr \quad (2)$$

the excesses of the system of admissible value (tolerance) Δ by the absolute error in a particular moment. So, the determination of the probability $P(t)$ is reduced to the determination of the density of the function $p(r(t))$.

The identification of the changes of the value of the diagnostic parameter was conducted with the timing

statku powietrznego (WSP). Podstawową funkcją głowicy celowniczej jest przesyłanie i zobrazowanie informacji użytkowej potrzebnej do zrealizowania procesu celowania. W układzie konstrukcyjnym systemu nawigacyjno-celowniczego jest ona końcowym elementem pośredniczącym w wypracowaniu informacji celowniczej, której parametrem użytkowym jest położenie punktu centralnego ruchomego znacznika celowniczego. Wypracowanie informacji celowniczej (położenie znacznika celowniczego) odbywa się w oparciu o równania celownicze, rozwiązanie których następuje w systemie nawigacyjno-celowniczym. Danymi niezbędnymi do ich wyznaczenia są parametry charakteryzujące lot WSP oraz dane taktyczno-techniczne charakteryzujące sytuację bojową (typ użytego środka bojowego, sposób rozwiązania zadania celowania).

Położenie znacznika celowniczego uwzględnia wartości błędów poszczególnych urządzeń funkcjonalnych, wchodzących w skład systemu nawigacyjno-celowniczego, uczestniczących w procesie wyznaczania sumarycznej poprawki kątowej. Ze względu na rangę ważności wypracowanej informacji, determinującej skuteczność zastosowania bojowego WSP, wymagana jest duża dokładność pracy systemu. Zatem prace obsługowe mające na celu kontrolę położenia znacznika celowniczego w trakcie trwania procesu eksploatacji są bardzo istotne. Dysponując informacją dotyczącą zmiany położenia nominalnego znacznika celowniczego, można wprowadzić do systemu poprawki niwelujące wpływ występujących błędów.

W wyniku analizy danych eksploatacyjnych dotyczących wartości parametrów diagnostycznych, charakteryzujących stan techniczny systemu, zaobserwowano ich zmianę. Zachodzące w systemie nawigacyjno-celowniczym zmiany starzeniowe powodują, że wynik funkcjonowania systemu staje się bliżej nieokreślony. Oznaczmy zatem przez zmienne z i y współrzędne położenia znacznika celowniczego rozpatrywane w układzie współrzędnym związanym z płaszczyzną reflektora głowicy celowniczej. Jako $U_{z,y,t}$ oznaczono prawdopodobieństwo tego, że w danej chwili t odchyłki położenia punktu centralnego ruchomego znacznika celowniczego wynoszą z i y , gdzie t jest bieżącym czasem realizacji kontroli. Prawdopodobieństwo to charakteryzuje funkcja gęstości, którą oznaczono przez $U(z,y,t)$. Zatem, dynamikę zmian realizacji odchyłek położenia punktu centralnego ruchomego znacznika celowniczego można scharakteryzować równaniem różnicowym wykorzystując funkcję gęstości $U(z,y,t)$.

Dla rozpatrywanego zagadnienia równanie różnicowe przyjmuje następującą postać:

$$U(z, y, t + \Delta t) = P_{00}U(z, y, t) + P_{10}U(z - h, y, t) + P_{20}U(z + h, y, t) + P_{01}U(z, y - h, t) + P_{02}U(z, y + h, t) \quad (3)$$

head of a military air ship. The main function of the aiming head is the transmission and presentation of the usable information that is needed for the realization of the aiming process. In the structure of the navigational and aiming system the head is the final element that mediates in developing the aiming information whose usable parameter is the position of the central point of the movable aiming indicator. The development of the aiming information (the position of the aiming indicator) is based on the aiming equations. Their solution occurs in the navigational and aiming system. The data that are needed for the information determination are parameters that characterize the flight of the military air ship and the tactical and technical data that characterize a combat situation (the type of a usable combat weapon, the way of resolving the aiming task).

The position of the timing indicate includes the values of errors of particular usable devices that belong to the navigational and timing system. They participate in developing the total, angular correction. An extreme correctness is needed for the operation of the system, because of the importance of the developer information that determines the effectiveness of the use of the combat, military air ship. So, the service works that are intended to control the position of the aiming indicator during the exploitation process are very important. Having the information about the change of the position of the nominal, aiming indicator, we can enter the corrections (that level out the influence of the errors) into the system.

As a result of the analysis of the operating data that concern the values of the diagnostic parameters that characterize the technical condition of the system, the change of these data was observed. The aging changes that occur in the navigational and aging system cause that the result of the system operation becomes indefinite. Let's mark the coordinates of the position of the aiming indicator by the variables z and y . The coordinates are considered in the coordinate system that is connected with the plane of the floodlight of the aiming head. $U_{z,y,t}$ Marks the probability that in a particular moment t the deviations of the position of the central point of the movable, timing indicator are z and y , where t is the current time of the control. This probability is characterized by the function of density which is marked as $U(z,y,t)$. So, the dynamics of the changes of the deviations of the position of the central point of the aiming indicator can be characterized by the differential equation with the use of the function of the density $U(z,y,t)$.

Concerning the issue, the differential equation has the following form:

gdzie: $U(z, y, t)$ – funkcja gęstości prawdopodobieństwa wartości odchyłek w chwili t ; Δt – wartość czasu pomiędzy poszczególnymi odchyłkami; h – wartość odchyłki wzdłuż poszczególnych osi; P_{00} – prawdopodobieństwo, że wartość odchyłki nie ulegnie zmianie; P_{10} – prawdopodobieństwo, że wartość odchyłki wzdłuż osi OZ zmieni się o $-h$ w czasie Δt ; P_{20} – prawdopodobieństwo, że wartość odchyłki wzdłuż osi OZ zmieni się o h w czasie Δt ; P_{01} – prawdopodobieństwo, że wartość odchyłki wzdłuż osi OY zmieni się o $-h$ w czasie Δt ; P_{02} – prawdopodobieństwo, że wartość odchyłki wzdłuż osi OY zmieni się o h w czasie Δt .

Wykorzystując wyrazy uzyskane w wyniku rozwinięcia funkcji $U(z, y, t)$ w szereg Taylora w otoczeniu punktu (z, y) i czasu t , zgodnie z zależnościami następującego zestawu równań:

$$\begin{aligned} U(z, y, t + \Delta t) &= U + \frac{\partial U}{\partial t} \Delta t, & U(z - h, y, t) &= U - \frac{\partial U}{\partial z} h + \frac{1}{2} h^2 \frac{\partial^2 U}{\partial z^2}, \\ U(z + h, y, t) &= U + \frac{\partial U}{\partial z} h + \frac{1}{2} h^2 \frac{\partial^2 U}{\partial z^2}, & U(z, y - h, t) &= U - \frac{\partial U}{\partial y} h + \frac{1}{2} h^2 \frac{\partial^2 U}{\partial y^2}, \\ U(z, y + h, t) &= U + \frac{\partial U}{\partial y} h + \frac{1}{2} h^2 \frac{\partial^2 U}{\partial y^2} \end{aligned} \quad (4)$$

gdzie: $U=U(z, y, t)$,

równanie (3) przyjmuje postać:

$$\begin{aligned} U + \frac{\partial U}{\partial t} \Delta t &= P_{00}U + P_{10} \left(U - \frac{\partial U}{\partial z} h + \frac{1}{2} h^2 \frac{\partial^2 U}{\partial z^2} \right) + P_{20} \left(U + \frac{\partial U}{\partial z} h + \frac{1}{2} h^2 \frac{\partial^2 U}{\partial z^2} \right) + \\ &+ P_{01} \left(U - \frac{\partial U}{\partial y} h + \frac{1}{2} h^2 \frac{\partial^2 U}{\partial y^2} \right) + P_{02} \left(U + \frac{\partial U}{\partial y} h + \frac{1}{2} h^2 \frac{\partial^2 U}{\partial y^2} \right) \end{aligned} \quad (5)$$

W wyniku operacji dodania i odjęcia U w równaniu (5) oraz po pomnożeniu odpowiednich wyrazów w nawiasach i wyciągnięciu parametru U przed nawias otrzymano:

$$\begin{aligned} \frac{\partial U}{\partial t} \Delta t &= -U + (P_{00} + P_{10} + P_{20} + P_{01} + P_{02})U + P_{10} \left(-\frac{\partial U}{\partial z} h + \frac{1}{2} h^2 \frac{\partial^2 U}{\partial z^2} \right) + \\ &+ P_{20} \left(\frac{\partial U}{\partial z} h + \frac{1}{2} h^2 \frac{\partial^2 U}{\partial z^2} \right) + P_{01} \left(-\frac{\partial U}{\partial y} h + \frac{1}{2} h^2 \frac{\partial^2 U}{\partial y^2} \right) + P_{02} \left(\frac{\partial U}{\partial y} h + \frac{1}{2} h^2 \frac{\partial^2 U}{\partial y^2} \right) \end{aligned} \quad (6)$$

Ponieważ

$$P_{00} + P_{10} + P_{20} + P_{01} + P_{02} = 1 \quad (7)$$

równanie (6) można przedstawić w następującej postaci:

$$\begin{aligned} \frac{\partial U}{\partial t} \Delta t &= -P_{10} \frac{\partial U}{\partial z} h + P_{10} \frac{1}{2} h^2 \frac{\partial^2 U}{\partial z^2} + P_{20} \frac{\partial U}{\partial z} h + P_{20} \frac{1}{2} h^2 \frac{\partial^2 U}{\partial z^2} - P_{01} \frac{\partial U}{\partial y} h + \\ &+ P_{01} \frac{1}{2} h^2 \frac{\partial^2 U}{\partial y^2} + P_{02} \frac{\partial U}{\partial y} h + P_{02} \frac{1}{2} h^2 \frac{\partial^2 U}{\partial y^2} \end{aligned} \quad (8)$$

Po przeprowadzeniu grupowania wielkości wchodzących w skład powyższego równania, dzieląc obustronnie przez Δt , otrzymano zależność:

where: $U(z, y, t)$ – the density function of the probability of the values of the deviations in the moment t ; Δt – the value of time between particular deviations; h – the value of the deviation along particular axes; P_{00} – the probability that the value of the deviation will not change; P_{10} – the probability that the value of deviation along the OZ axis will change by $-h$ in the time Δt ; P_{20} – the probability that the value of deviation along the OZ axis will change by h in the time Δt ; P_{01} – the probability that the value of the deviation along the OY axis will change by $-h$ in the time Δt ; P_{02} – the probability that the value of the deviation along the OY axis will change by h in the time Δt ;

Using terms that are the result of developing the function $U(z, y, t)$ into Taylor's row in the surroundings of the point (z, y) and the time t , in accordance with the interdependences of the following equations :

where: $U=U(z, y, t)$,

the equation (3) assumes the form:

As a result of the addition and the subtraction of U in the equation (5), and after multiplying certain terms in the brackets and extracting U parameter before the bracket we got :

Because

$$P_{00} + P_{10} + P_{20} + P_{01} + P_{02} = 1 \quad (7)$$

the equation (6) can be presented in the following form:

After regrouping the values that belong to the above equation, and dividing on both sides by Δt , we got the following interdependence:

$$\frac{\partial U}{\partial t} = -\frac{(P_{10} - P_{20})h}{\Delta t} \frac{\partial U}{\partial z} + \frac{(P_{10} + P_{20})\frac{1}{2}h^2}{\Delta t} \frac{\partial^2 U}{\partial z^2} - \frac{(P_{01} - P_{02})h}{\Delta t} \frac{\partial U}{\partial y} + \frac{(P_{01} + P_{02})\frac{1}{2}h^2}{\Delta t} \frac{\partial^2 U}{\partial y^2} \quad (9)$$

Wprowadzając następujące oznaczenia:

Introducing the following marks:

$$b_1 = \frac{(P_{10} - P_{20})h}{\Delta t}, \quad b_2 = \frac{(P_{01} - P_{02})h}{\Delta t}, \quad a_1 = \frac{(P_{10} + P_{20})h^2}{\Delta t}, \quad a_2 = \frac{(P_{01} + P_{02})h^2}{\Delta t}$$

i podstawiając je do równania (9), otrzymano następujące równanie różniczkowe:

and replacing the equation with marks (9), we got the following differential equation:

$$\frac{\partial U}{\partial t} = -b_1 \frac{\partial U}{\partial z} - b_2 \frac{\partial U}{\partial y} + \frac{1}{2}a_1 \frac{\partial^2 U}{\partial z^2} + \frac{1}{2}a_2 \frac{\partial^2 U}{\partial y^2} \quad (10)$$

Rozwiązaniem powyższego równania jest funkcja o następującej postaci:

The solution of the above equation is the function in the following form:

$$U(z, y, t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi a_1 t} \sqrt{2\pi a_2 t}} e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{(z-b_1 t)^2}{a_1 t} + \frac{(y-b_2 t)^2}{a_2 t} \right)} \quad (11)$$

Funkcja gęstości (11) opisuje rozkład odchyień punktu centralnego znacznika celowniczego w kierunku poziomym z i pionowym y , gdzie:

The function of the density (11) describes the arrangements of the deviations of the central point of the aiming indicator in a horizontal z and vertical y direction, where:

- b_1 – średnie odchylenie punktu centralnego ruchomego znacznika celowniczego na jednostkę czasu eksploatacji w kierunku poziomym;
- b_2 – średnie odchylenie punktu centralnego ruchomego znacznika celowniczego na jednostkę czasu eksploatacji w kierunku pionowym;
- a_1 – średnie kwadratowe odchylenie punktu centralnego ruchomego znacznika celowniczego na jednostkę czasu eksploatacji w kierunku poziomym;
- a_2 – średnie kwadratowe odchylenie punktu centralnego ruchomego znacznika celowniczego na jednostkę czasu eksploatacji w kierunku pionowym.

- b_1 – the average deviation of the central point of the movable, aiming indicator per a unit of the operation time in the horizontal direction;
- b_2 – the average deviation of the central point of the movable, aiming indicator per a unit of the operation time in the vertical direction;
- a_1 – the average square deviation of the central point of the movable, aiming indicator per a unit of the operation time in the horizontal direction;
- a_2 – the average square deviation of the central point of the movable, aiming indicator per a unit of the operation time in the vertical direction.

Wyznaczenie wartości powyższej funkcji gęstości sprowadza się do problemu dysponowania:

The determination of the value of the above density function is reduced to the problem of having:

- 1 – danymi wejściowymi poszczególnych zmiennych losowych; oraz
- 2 – parametrami funkcji charakteryzującymi jej własności.

- 1 – the initial data of particular random variables; and
- 2 – the parameters of the function that characterize its properties.

Znając przebieg ruchu punktu centralnego ruchomego znacznika celowniczego w określonych chwilach czasowych $t_0, t_1, t_2, \dots, t_n$, wymuszonego procesami starzeniowymi występującymi w trakcie trwania procesu eksploatacyjnego, uzyskane dane można zapisać w postaci:

Having known the course of the movement of the central, movable, aiming indicator at particular moments $t_0, t_1, t_2, \dots, t_n$ (the movement is forced by the aging process that occur during the operation process), we can write down the obtained data in the following form:

$$\begin{aligned} &(z_0, t_0), (z_1, t_1), (z_2, t_2), \dots, (z_n, t_n), \\ &(y_0, t_0), (y_1, t_1), (y_2, t_2), \dots, (y_n, t_n). \end{aligned} \quad (12)$$

Funkcja wiarygodności dla funkcji gęstości (11) i danych (12) przyjmuje następującą postać:

The likelihood function for the density function (11) and the data (12) has a following form:

$$L = \frac{1}{(2\pi)^n (a_1 a_2)^2} \prod_{k=1}^{n-1} \frac{1}{(t_{k+1} - t_k)} \exp \left\{ -\frac{1}{2} \left[\frac{((z_{k+1} - z_k) - b_1(t_{k+1} - t_k))^2}{a_1(t_{k+1} - t_k)} + \frac{((y_{k+1} - y_k) - b_2(t_{k+1} - t_k))^2}{a_2(t_{k+1} - t_k)} \right] \right\} \quad (13)$$

Aby wyznaczyć parametry a_1, a_2, b_1 i b_2 należy zastosować jedną z metod umożliwiającą ich określenie. Metodą najczęściej wykorzystywaną do wyznaczenia powyższych parametrów jest metoda największej wiarygodności, w której otrzymanie estymatorów polega na wyznaczeniu takich wartości parametrów a_1, a_2, b_1 i b_2 by funkcja wiarygodności osiągnęła maksimum. Szukane jest zatem rozwiązanie poniższych równań

$$\frac{\partial \ln L}{\partial a_1} = 0; \quad \frac{\partial \ln L}{\partial a_2} = 0; \quad \frac{\partial \ln L}{\partial b_1} = 0; \quad \frac{\partial \ln L}{\partial b_2} = 0 \quad (14)$$

Określając pochodne logarytmów funkcji (13) względem poszczególnych współczynników i przyrównując je do zera otrzymano następujące zależności:

$$b_1 = \frac{z_n}{t_n}, \quad b_2 = \frac{y_n}{t_n}, \quad (15)$$

$$a_1 = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^{n-1} \frac{[(z_{k+1} - z_k) - b_1(t_{k+1} - t_k)]^2}{(t_{k+1} - t_k)}, \quad a_2 = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^{n-1} \frac{[(y_{k+1} - y_k) - b_2(t_{k+1} - t_k)]^2}{(t_{k+1} - t_k)}$$

Wyznaczając wartości powyższych współczynników i podstawiając je do równania (11) można wyznaczyć funkcję gęstości położenia znacznika celowniczego w procesie eksploatacyjnym.

Funkcję gęstości (11) można rozbić na iloczyn dwóch funkcji:

$$U(z, y, t) = \underbrace{\frac{1}{\sqrt{2Aa_1t}} \exp \left[-\frac{(z - b_1t)^2}{2a_1t} \right]}_{f(z,t)} \underbrace{\frac{1}{\sqrt{2Aa_2t}} \exp \left[-\frac{(y - b_2t)^2}{2a_2t} \right]}_{f(y,t)} \quad (16)$$

$$U(z, y, t) = f(z, t) f(y, t)$$

Zgodnie ze wzorem (1) eksploatacja systemu powinna trwać do momentu kiedy prawdopodobieństwo przekroczenia przez jedną ze zmiennych losowych, charakteryzujących parametry użytkowe systemu, dopuszczalnej wartości z_g lub y_g będzie mniejsze lub równe ustalonej wartości granicznej. Zatem, można zapisać, że:

$$P = \int_{-\infty}^{z_g} \int_{-\infty}^{y_g} U(z, y, t) dz dy = \underbrace{\int_{-\infty}^{z_g} f(z, t) dz}_{P_1} \underbrace{\int_{-\infty}^{y_g} f(y, t) dy}_{P_2} \quad (17)$$

$$P = P_1 P_2 \quad (18)$$

gdzie: P_1 i P_2 – prawdopodobieństwo zdatnej pracy urządzenia.

To determine the parameters a_1, a_2, b_1 and b_2 we must use one of the methods that enable their determination. The method that is usually used to determine the above parameters is the method of the highest likelihood in which the estimators are obtained by determining such values of the parameters a_1, a_2, b_1 and b_2 by that the likelihood function reaches the maximum. So, the solution of the below equations is searched for

While determining the derivatives of the logarithms of the function (13) in respect of particular coefficients and comparing them to zero, the following interdependence was obtained:

Determining the values of the above coefficients and replacing the equation with them (11) we can determine the density function of the position of the timing indicator in the operating process.

The density function (11) can be split into two products of two functions:

In accordance with the formula (1) using of the system should last up to the moment when the probability of exceeding by one of the random variables (that characterize the usable parameters of the system) with the admissible value z_g or y_g , will be lower or equal to the determined boundary value. So, we can write down that:

$$P = P_1 P_2 \quad (18)$$

where: P_1 and P_2 – the probability of the usable operation of the device.

Znając postacie funkcji gęstości $f(z,t)$ i $f(y,t)$, dysponując danymi (z_p, y_p, t_p) oraz z_g i y_g można wyznaczyć wartości prawdopodobieństw P_1 i P_2 . W stosunku do techniki lotniczej stawiane są wysokie wymagania dotyczące niezawodnej pracy obiektów, tak więc poszczególne prawdopodobieństwa zależności (18) powinny posiadać odpowiednio duże wartości.

3. Wnioski

Na podstawie przedstawionego materiału można wnioskować, iż zaprezentowana metoda może z powodzeniem zostać wykorzystana do analitycznego opisu zmian położenia parametrów diagnostycznych i wyznaczenia prawdopodobieństwa zadanej pracy głowicy celowniczej. Opracowany model może również posiadać walory aplikacyjne związane z możliwością określenia czasookresu wykonywania prac obsługowych. W tym celu przedstawione w niniejszym artykule rozwiązanie w postaci określenia prawdopodobieństwa zadanej pracy należy „odwrócić”, tzn. zakładając określony poziom prawdopodobieństwa P_1 i P_2 i w oparciu o dane uzyskane w trakcie procesu eksploatacyjnego, wyznaczyć czas w którym nastąpi przekroczenie przez system dopuszczalnej wartości z_g lub y_g . Zagadnienie to zostanie rozwinięte w innym artykule. Ponadto, opracowany model może być również z powodzeniem wykorzystany do analizy stanu innych urządzeń w których następuje okresowa rejestracja parametrów diagnostycznych wykorzystywanych do oceny jego stanu.

4. References

- [1] Abezgauz G.: *Rachunek probabilistyczny*. Poradnik. Wydawnictwo Ministra Obrony Narodowej, Warszawa 1973r.
- [2] Fisz M.: *Rachunek prawdopodobieństwa i statystyka matematyczna*. Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa 1958r.
- [3] Rozenberg W.: *Wstęp do teorii błędów systemów pomiarowych*. PWN, Warszawa 1982r.
- [4] Skomra A., Tomaszek H., Wróblewski M.: *Charakterystyki taktyczno-techniczne i skuteczność lotniczych środków bojowych*. Skrypt WAT, Warszawa 1999r.
- [5] Szczepanik R., Tomaszek H., Jaształ M.: *Zarys metody określania rozkładu czasu narastania pęknięcia elementu do wartości granicznej w warunkach zmęczenia w procesie eksploatacji statku powietrznego*. Zagadnienia Eksploatacji Maszyn, Zeszyt 3, Radom 2006r.
- [6] Ważny M.: *Badanie eksploatacyjnych przyczyn rozrzutu wybranych środków bojowych i ich wpływu na skuteczność systemów uzbrojenia lotniczego*. WAT, Warszawa 2003r.
- [7] Ważny M.: *Opis zmian wartości parametrów diagnostycznych wybranego urządzenia systemu nawigacyjno-celowniczego w funkcji czasu eksploatacji*. VI Międzynarodowa Konferencja Uzbrojeniowa Waplewo 2006r.

Having known the forms of the density function $f(z,t)$ and $f(y,t)$, having had the data (z_p, y_p, t_p) or z_g and y_g we can determine the values of the probability P_1 and P_2 . The air technology faces high requirements concerning the faultless operation of the objects. So, particular probabilities of interdependences (18) should have big values adequately.

3. Conclusions

On the basis of the presented material we can conclude that the presented method can be used successfully for the analytic description of the changes of the position of the diagnostic parameters and for the determination of the probability of the usable operation of the aiming head. The model can also be used for the determination of the time of service works. For this purpose, the presented solution in the form of the determination of the probability of the usable operation should be 'reversed' – assuming a particular level of probability P_1 and P_2 and in accordance with the data that were obtained during the operating process, to determine the time when there will be the excess of the admissible value z_g or y_g . This issue will be developed in another article. Moreover, the model can be also used for the analysis of the condition of other devices in which there is a periodic register of the diagnostic parameters that are used for the assessment of a device condition.

Dr inż. Mariusz WAŻNY
Dr inż. Michał JASZTAŁ

Wojskowa Akademia Techniczna
 Wydział Mechatroniki
 ul. Kaliskiego 2, 00-908 Warszawa 49
 tel. (0-22) 6837947, (0-22) 6839851
