

Данная статья посвящена разработке информационно-управляющей системы определения непрерывного Марковского процесса при имитации работы двигателя вертолета Ми-8МТВ. Диагностика и прогнозирование изменений состояния работы двигателя вертолета Ми-8МТВ являются актуальной научно-практической задачей, поскольку эксплуатация данного типа вертолета продолжается по сей день как в Украине, так и во многих странах мира и в ближайшем будущем он не будет снят с эксплуатации. В настоящее время проблематикой диагностики авиационной техники в Украине занимаются ученые из Национального авиационного университета, основные работы которых состоят в оптимизации процессов ее технического обслуживания с помощью информационно-управляющих систем [1–4]. Данная система включается в себя блок-схему алгоритма моделирования непрерывного Марковского процесса на примере имитации работы двигателя вертолета Ми-8МТВ и программную реализацию определения значений вектора переходных вероятностей, которые являются информационным критерием оценивания состояния двигателя вертолета в реальном времени. Для учета четырех обобщенных возможных состояний двигателя вертолета Ми-8МТВ разработана дискретная сеть Маркова. На основании чего получены аналитические выражения, решив которые, можно определить значения вектора переходных вероятностей. В работе получен график среднеквадратического отклонения состояния двигателя. Также в работе вычислены абсолютная и относительная погрешности полученных значений вектора вероятностей состояния двигателя вертолета Ми-8МТВ при численном моделировании Марковской цепи и аналитическим решением, которые не превысили 1 %, что подтвердило точность и адекватность полученных результатов.

Ключевые слова: моделирование, Марковские процессы, вертолет Ми-8МТВ, информационно-управляющая система, человеческий фактор.

IU. M. SHMELEV, S. I. VLADOV, S. N. BOIKO, IA. R. KLIMOVA
Kremenchuk Flying College of the National Aviation University
S. IA. VISHNEVSKII
Vinnitsa National Technical University

INFORMATION-CONTROL SYSTEM FOR DETERMINING OF THE CONTINUOUS MARKOV PROCESS DURING SIMULATING OF THE MI-8MTV HELICOPTER ENGINE OPERATION

This article is devoted to the development of an information-control system for determining of the continuous Markov process in the simulation of the operation of the Mi-8MTV helicopter engine. Diagnosis and prediction of changes in the operating status of the Mi-8MTV helicopter engine are an actual scientific and practical tasks, since the using of this helicopter type continues to this day both in Ukraine and in many countries of the world and in the near future it will not be decommissioned. At present, scientists from the National Aviation University are engaged in the diagnostics of aircraft engineering in Ukraine, whose main tasks are to optimize the processes of its maintenance with the help of information-control systems [1–4]. This system includes a block diagram of the algorithm for modelling of the continuous Markov process by simulating the operation of the Mi-8MTV helicopter engine and the software implementation of determining of the values of the vector of transition probabilities, which are an information criterion for evaluating of the state of the helicopter's engine in real time. To account the four generalized possible states of the Mi-8MTV helicopter engine, a discrete Markov network has been developed. Analytical expressions have been obtained on this base, deciding which, we can determine the values of the vector of transition probabilities. A graph of the standard deviation of the state of the engine was obtained. Also, the absolute and relative errors in the obtained values of the vector of probabilities of the state of the MI-8MTV helicopter engine were calculated with the numerical modelling of the Markov chain and the analytical solution, which did not exceed 1%, which confirmed the accuracy and adequacy of the obtained results.

Keywords: modelling, Markov processes, Mi-8MTV helicopter, information-control system, human factor.

() [5]. $P_{i1}, P_{i2}, P_{i3}, \dots (P_{i1} + P_{i2} + P_{i3} + \dots = 1)$.

[0; 1] r , [4]: j i ij

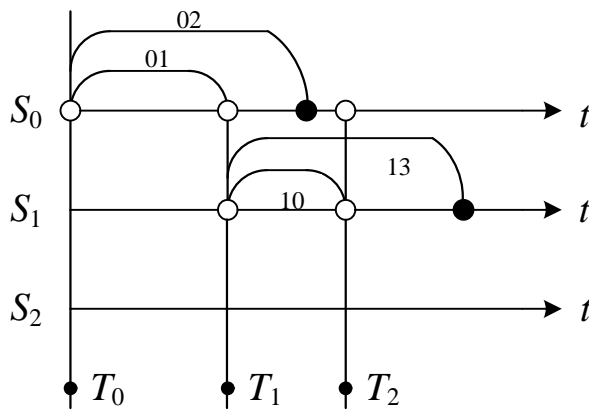
$$\lambda_{ij} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{P_{ij}(\Delta t)}{\Delta t} \quad (1)$$

[6].

$$\tau_{ij} = -\frac{1}{\lambda_{ij}} \ln R; \quad (2)$$

1, j + 2, ..., ij , $ij+1$, $ij+2 \dots j$ $ij+2 \dots ij$; (j + 1)- j , $ij, ij+1, ij+2 \dots ij+2 \dots ij$; [4-6].

-8 $S_0 - S_1 - S_2$ T_0, T_1, T_2 $10 - 13 - 30 -$

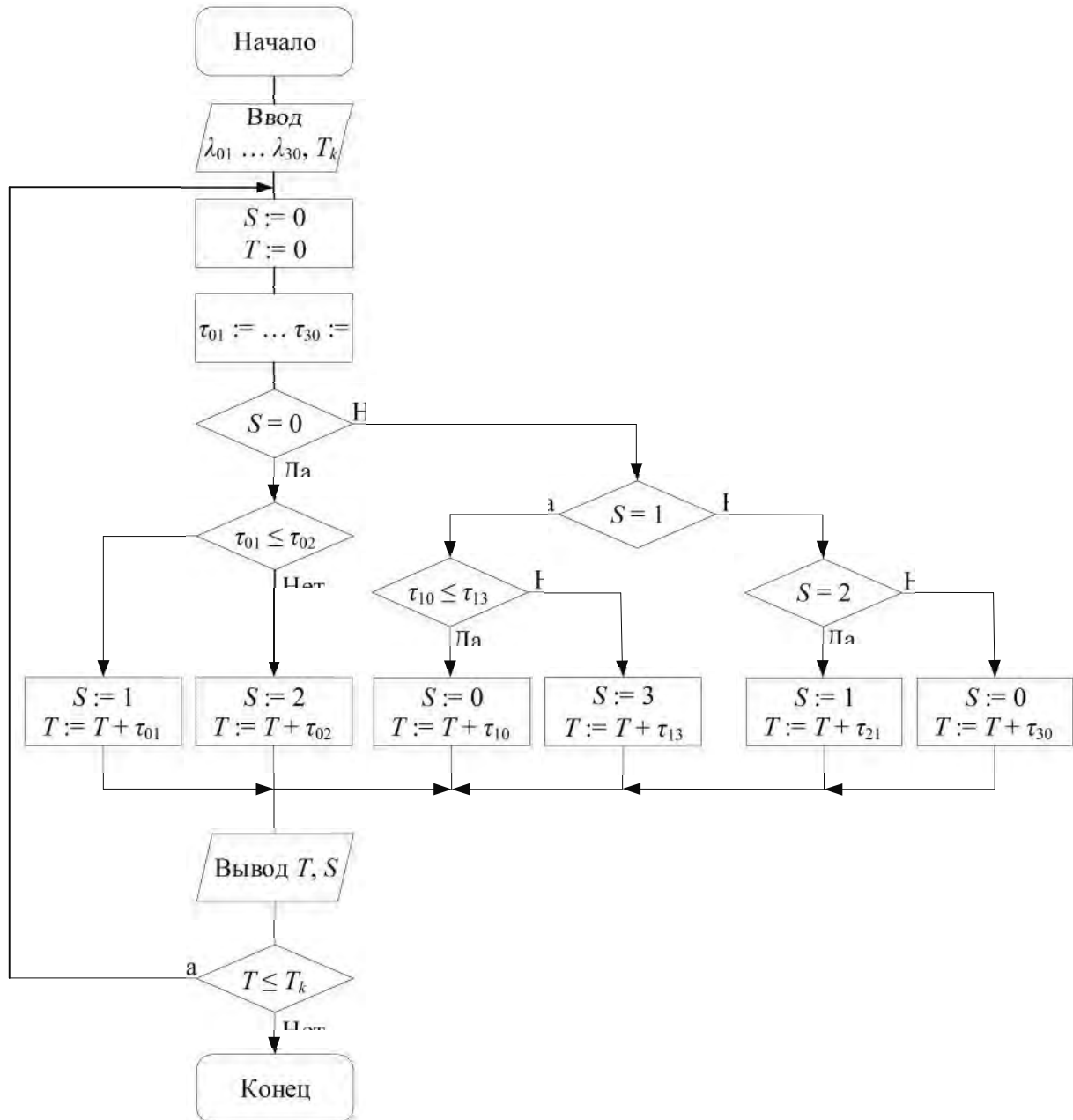


.1. $S_0 - S_1 - S_0 - \dots$ $T_0 = 0, T_1 = 01, T_2 = 01 + 10$.

S [7].

$$\tau_{01} = -\frac{1}{\lambda_{01}} \ln R; \tau_{13} = -\frac{1}{\lambda_{13}} \ln R; \tau_{20} = -\frac{1}{\lambda_{20}} \ln R;$$

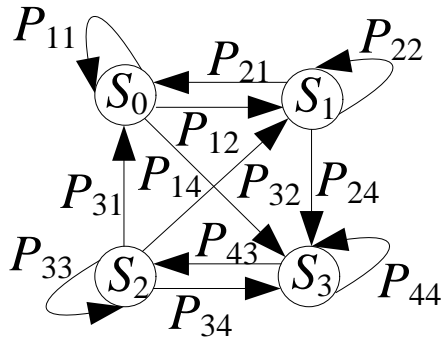
$$\tau_{02} = -\frac{1}{\lambda_{02}} \ln R; \tau_{10} = -\frac{1}{\lambda_{10}} \ln R; \tau_{21} = -\frac{1}{\lambda_{21}} \ln R.$$



.2.

-8

$S_1, S_1 - S_0, S_0 - S_3, S_1 - S_3, S_2 - S_0, S_2 - S_1, S_2 - S_3, S_3 - S_2,$
 $S_0 - S_3, S_1 - S_3, S_2 - S_0, S_2 - S_1, S_2 - S_3, S_3 - S_2,$
 (.3).



.3. , -8

.3,

$$P = \begin{pmatrix} P_{11} & P_{12} & 0 & P_{14} \\ P_{21} & P_{22} & 0 & P_{24} \\ P_{31} & P_{32} & P_{33} & P_{34} \\ 0 & 0 & P_{43} & P_{44} \end{pmatrix} \quad (3)$$

()

$$\begin{cases} P_{11}\pi_1 + P_{21}\pi_2 + P_{31}\pi_3 = \pi_1; \\ P_{12}\pi_1 + P_{22}\pi_2 + P_{32}\pi_3 = \pi_2; \\ P_{33}\pi_3 + P_{43}\pi_4 = \pi_3; \\ P_{14}\pi_1 + P_{24}\pi_2 + P_{34}\pi_3 + P_{44}\pi_4 = \pi_4. \end{cases} \quad (4)$$

$$(4) \quad \begin{matrix} = P^T \\ (P^T - E) \end{matrix} = 0;$$

$$P^T = \begin{pmatrix} P_{11} & P_{21} & P_{31} & 0 \\ P_{12} & P_{22} & P_{32} & 0 \\ 0 & 0 & P_{33} & P_{43} \\ P_{14} & P_{24} & P_{34} & P_{44} \end{pmatrix}$$

$$E = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$, P^T - E = \begin{pmatrix} P_{11} - 1 & P_{21} & P_{31} & 0 \\ P_{12} & P_{22} - 1 & P_{32} & 0 \\ 0 & 0 & P_{33} - 1 & P_{43} \\ P_{14} & P_{24} & P_{34} & P_{44} - 1 \end{pmatrix} \quad (5)$$

$(P^T - E)$

$$P^T - E = \begin{pmatrix} P_{11} - 1 & P_{21} & P_{31} & 0 \\ P_{12} & P_{22} - 1 & P_{32} & 0 \\ 0 & 0 & P_{33} - 1 & P_{43} \\ 1 & 1 & 1 & 1 \end{pmatrix} \quad (6)$$

$$\begin{cases} (P_{11} - 1)\pi_1 + P_{21}\pi_2 + P_{31}\pi_3 = 0; \\ P_{12}\pi_1 + (P_{22} - 1)\pi_2 + P_{32}\pi_3 = 0; \\ (P_{33} - 1)\pi_3 + P_{43}\pi_4 = 0; \\ \pi_1 + \pi_2 + \pi_3 + \pi_4 = 1; \end{cases}$$

$$\pi_1 = \frac{-P_{21}P_{32}P_{43} - P_{31}P_{43}(P_{22} - 1)}{(P_{11} - 1)((P_{22} - 1)(P_{33} - P_{43} - 1 + P_{32}P_{43})) - P_{21}(P_{12}(P_{33} - P_{43} - 1 + P_{32}P_{43})) + P_{31}(-P_{12}P_{43} + P_{43}(P_{22} - 1))}$$

$$\pi_3 = \frac{-P_{43}(P_{11} - 1)(P_{22} - 1) + P_{12}P_{21}P_{43}}{(P_{11} - 1)((P_{22} - 1)(P_{33} - P_{43} - 1 + P_{32}P_{43})) - P_{21}(P_{12}(P_{33} - P_{43} - 1 + P_{32}P_{43})) + P_{31}(-P_{12}P_{43} + P_{43}(P_{22} - 1))}$$

$$\pi_4 = \frac{(P_{11} - 1)(P_{22} - 1)(P_{33} - 1) - P_{12}P_{21}(P_{33} - 1)}{(P_{11} - 1)((P_{22} - 1)(P_{33} - P_{43} - 1 + P_{32}P_{43})) - P_{21}(P_{12}(P_{33} - P_{43} - 1 + P_{32}P_{43})) + P_{31}(-P_{12}P_{43} + P_{43}(P_{22} - 1))}$$

(6)

(1, 2, 3, 4) (P₁₁...P₃₃) , i-

-8 . (6),

4 P₃₄, P₄₃,

(1,0, P₁₁ = P₂₂ = 1. 1,0, P₁₂ = P₂₁ = 1.

P₃₃ = 0,1. , 0,9, P₃₁ = P₃₂ = 1 - 0,1 = 0,9.

0,1 % - (P₄₄ = 0,001) [6], , P₄₃ = 1 - 0,001 = 0,999.

, , P₄₁ = P₄₂ = 0.

, 99,9 % (P₁₄ = P₂₄ = 1 - 0,999 = 0,001. [6],

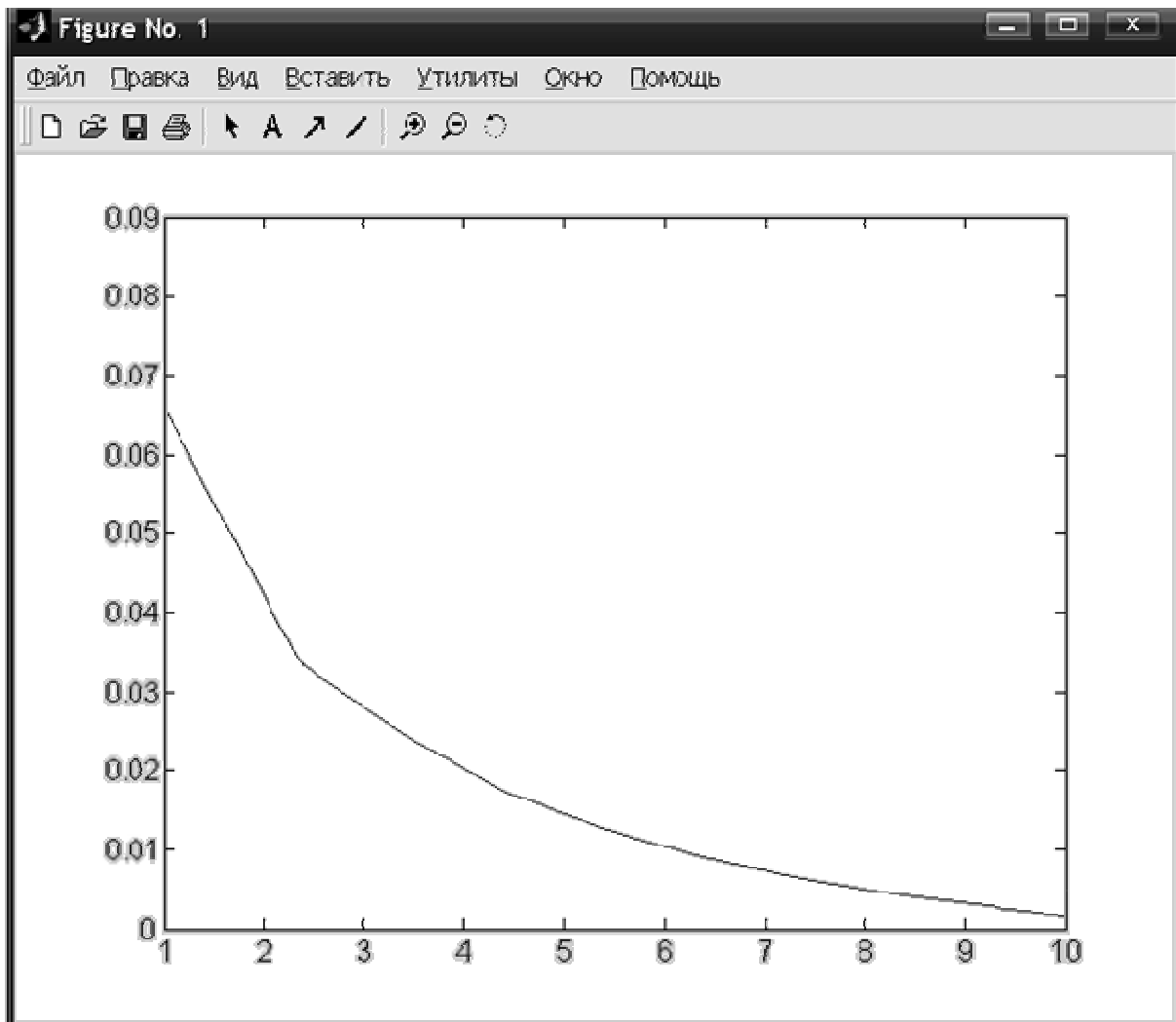
1 %, P₃₄ = 0,01.

```
>> p=[1.000 1.000 0 0.001; 1.000 1.000 0 0.001; 0.900 0.900 0.100 0.010; 0.999 0.999 0.999 0.001]
p = 1.000 1.000 0.000 0.001
1.000 1.000 0.000 0.001
0.900 0.900 0.100 0.010
0.999 0.999 0.999 0.001
```

```
10...15
>> vectorNew=[1 0 0 0]
vectorNew = 1 0 0 0
```

```

>> vectorOld=vectorNew
vectorOld = 1 0 0 0
>> vectorNew=vectorOld*p
vectorNew = 1.000 1.000 0.000 0.001
>> var = [0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
var = 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
>> var(1)=std(vectorNew-vectorOld)
var = 0.0652 0 0 0 0 0 0 0 0 0
>> vectorOld=vectorNew;
vectorNew=vectorOld*p;
var(2)=std(vectorNew-vectorOld)
var = 0.0652 0.0428 0 0 0 0 0 0 0 0
...
>> vectorOld=vectorNew;
vectorNew=vectorOld*p;
var(10)=std(vectorNew-vectorOld)
var = 0.0652 0.0428 0.0287 0.0200 0.0151 0.0102 0.0084 0.0047 0.0026 0.0012
>> vectorNew
vectorNew = 0.9196 0.9196 0.0107 0.0029
>> plot(var)
    
```



.4.

P
MathLAB

« »
« »

```
>> pTrans=p'
pTrans =
1.000 1.000 0.900 0.999
1.000 1.000 0.900 0.999
0.000 0.000 0.100 0.999
0.001 0.001 0.010 0.001
>> pTrans=pTrans-eye(4,4)
pTrans =
0.000 1.000 0.900 0.999
1.000 0.000 0.900 0.999
0.000 0.000 -0.900 0.999
0.001 0.001 0.010 -0.999
>> pTrans
pTrans =
0.000 1.000 0.900 0.999
1.000 0.000 0.900 0.999
0.000 0.000 -0.900 0.999
1.000 1.000 1.000 1.000
>> vector = linsolve(pTrans, [0; 0; 0; 1])
vector =
0.92080
0.92080
0.01080
0.00292
```

(1, 2, 3, 4)

$$\begin{aligned} \delta\pi_1 &= \frac{|0,9196 - 0,9208|}{0,9196} \times 100\% = 0,13\%; \\ \delta\pi_2 &= \frac{|0,9196 - 0,9208|}{0,9196} \times 100\% = 0,13\%; \\ \delta\pi_3 &= \frac{|0,0107 - 0,0108|}{0,0107} \times 100\% = 0,93\%; \\ \delta\pi_4 &= \frac{|0,0029 - 0,00293|}{0,0029} \times 100\% = 0,69\%. \end{aligned}$$

1 %,

1. (1, 2, 3, 4) (, , ,), (1,

2. MathLAB (1, 2, 3, 4),

(0,9196 0,9196 0,0101 0,0029), i- 3 , 4

1. [: / ; (. -). - (164) . - , 2011. 2. -

1. – 2015. – 2. – 67–72. //
3. // – 2013. – 7 (104). – 190–194.
4. // – 2014. – 9 (116). – 177–181.
5. []. – : <http://stratum.ac.ru/education/textbooks/modelir/lection33.html>
6. 3-117 : ; 1. – 1986. – 597 .
7. : / . . . – . : , 2011. – 184 .
8. // : , 2015. – 6 (231). – 154–156.

References

1. Koptev A. N. Aviacionnoe i radioelektronnoe oborudovanie vozdušnyh sudov grazhdanskoj aviacii [Elektronnyj resurs] : ehlektron. uceb. posobie / A. N. Koptev ; Minobrnauki Rossii, Samar. gos. aehrokosm. un-t im. S. P. Koroleva (nac. issled. un-t). – Elektron. tekstovye i graf. dan. (164 Mbajt). – Samara, 2011.
2. Informatsiini tehnolohii zabezpechennia konstruktyvno-eksploatatsiinykh vlastyvoitei povitrianykh suden ta aviatsiinykh dvyhuniv / S. O. Dmytriiev, O. V. Popov, D. V. Popov, H. O. Aristov // Vestnyk dvyhatelestroenyia. – 2015. – 2. – S. 67–72.
3. Formuvannia prohram tekhnichnoho obsluhovuvannia aviatsiinykh dvyhuniv / S. O. Dmytriiev, V. I. Burlakov, O. V. Popov, D. V. Popov // Avyatsyonno-kosmycheskaia tekhnika y tekhnolohyy. – 2013. – 7 (104). – S. 190–194.
4. Formalizatsiia protsedur ta vyznachennia optymalnykh prohram tekhnichnoho obsluhovuvannia povitrianykh suden ta aviatsiinykh dvyhuniv / S. O. Dmytriiev, V. I. Burlakov, O. V. Popov, D. V. Popov // Avyatsyonno-kosmycheskaia tekhnika y tekhnolohyy. – 2014. – 9 (116). – S. 177–181.
5. Modelirovanie markovskih sluchajnyh processov [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa : <http://stratum.ac.ru/education/textbooks/modelir/lection33.html>
6. Turboval'nyj dvigatel' TV3-117 : rukovodstvo po tekhnicheskoy ehkspluatatsii ; kniga 1. – 1986. – 597 s.
7. Dmytriiev S. O. Liudskiy faktor pry tekhnichnomu obsluhovuvanni aviatsiinoi tekhniki : navchalnyi posibnyk / S. O. Dmytriiev. – K. : NAU, 2011. – 184 s.
8. Litvitskiy L.O. Funktsionalni osoblyvosti orhanizatsii dekodera pereshkodostiikykh kodiv na osnovi shtuchnykh neironnykh merezh / L.O. Litvitskiy, V.M. Cheshun, V.I. Chornenkiy // Herald of Khmelnytskyi National University. Technical sciences. – Khmelnytskyi : KhNU, 2015. – 6 (231). – S. 154–156.

/Peer review : 13.02.2018 .

/Printed :28.03.2018 .