ISSN 1727-7337 (print)
ISSN 2663-2217 (online)

УДК 681.2:004.94 **doi: 10.32620/aktt.2020.8.22**

**О. В. ТОМАШЕВСЬКИЙ, Г. В. СНІЖНОЙ**

***Національний університет «Запорізька політехніка», Запоріжжя, Україна***

# ДОСЛІДЖЕННЯ ПОКАЗНИКА ЕФЕКТИВНОСТІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ МЕТОДОМ КОМП'ЮТЕРНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

*Ефективність експлуатації засобів вимірювальної техніки (ЗВТ) має важливе значення при визначенні витрат на утримання ЗВТ. Для характеристики ефективності експлуатації ЗВТ запроваджено показник ефективності, збільшення якого дозволить зменшувати витрати викликані випуском бракованої продукції через застосування ЗВТ з недостовірними показаннями. З плином часу параметри ЗВТ змінюються під впливом зовнішніх факторів, неминуче протікають процеси старіння ЗВТ, наслідком чого змінюються параметри системи метрологічного обслуговування ЗВТ. Тобто, в загальному випадку, параметри системи метрологічного обслуговування ЗВТ необхідно розглядати як випадкові величини. Відповідно, показник ефективності засобів вимірювальної техніки, також є випадкова величина. Для визначення якого доцільно застосовувати методи математичної статистики та комп'ютерного моделювання. Показник ефективності залежить від таких параметрів системи метрологічного обслуговування ЗВТ, як міжповірочний інтервал, час знаходження ЗВТ на метрологічному обслуговуванні та ймовірності безвідмовної роботи ЗВТ. Як випадкова величина, показник ефективності має певну функцію розподілу. Для визначення функції розподілу показника ефективності і відповідних статистичних характеристик використано метод комп'ютерного моделювання. Проведено дослідження впливу на показник ефективності параметрів системи метрологічного обслуговування ЗВТ (міжповірочного інтервалу, інтенсивності відмов ЗВТ). Значення міжповірочного інтервалу і інтенсивності відмов ЗВТ змінювалось в широкому діапазоні, характерного для реального виробництва. Час знаходження ЗВТ на метрологічному обслуговуванні розглянуто як випадкова величина з нормальним законом розподілу. Для одержання випадкових чисел з нормальним законом розподілу застосовано метод Бокса-Мюллера. Після моделювання зроблено статистичну обробку одержаних результатів. Показано, що в умовах реального виробництва показник ефективності має нормальний закон розподілу і значення показника ефективності з збільшенням міжповірочного інтервалу, практично не змінюється.*

***Ключові слова**: вимірювальна техніка; показник ефективності засобів вимірювальної техніки; метод комп'ютерного моделювання.*

## Вступ

Ефективність експлуатації засобів вимірювальної техніки (ЗВТ) має важливе значення при визначенні витрат на утримання ЗВТ, а також витрат, які викликані випуском бракованої продукції через застосування ЗВТ з недостовірними показаннями. Для характеристики ефективності експлуатації ЗВТ запроваджено показник ефективності $K_{ef}$ [1], збільшення якого дозволить зменшувати витрати. В [2] аналітичними методами досліджено зв'язок показників ефективності та надійності з параметрами системи метрологічного обслуговування (МО) ЗВТ при певних обмеженнях. Але як би ретельно не було виготовлено і відрегульовано ЗВТ, з плином часу неминуче протікають процеси старіння, наслідком чого є неухильне зростання його похибки, і параметри МО ЗВТ змінюються. Тобто, взагалі їх не можна вважити постійними і необхідно розглядати як випадкові величини.

Таким чином, $K_{ef}$, як функціонально пов'язана з параметрами МО ЗВТ, також випадкова величина.

Мета даної роботи – дослідження показника ефективності експлуатації ЗВТ, як випадкової величини, з допомогою методу комп'ютерного моделювання, а саме визначення функції розподілу, впливу на показник параметрів МО ЗВТ,

## 1. Визначення показника ефективності експлуатації ЗВТ

Метрологічне обслуговування ЗВТ повинно підлягати головній задачі самого виробництва - забезпечення необхідного об'єму випуску виробів при мінімальних витратах. Для характеристики ефективності застосування ЗВТ пропонується використати комплексний показник ефективності [2]:

$$K_{ef} = K_г(T)P(T), \qquad (1)$$

© О. В. Томашевський, Г. В. Сніжной, 2020

де $К_г(Т)$ – коефіцієнт готовності ЗВТ;

$Р(Т)$ – ймовірність безвідмовної роботи ЗВТ.

Коефіцієнт готовності $К_г(Т)$ визначається як:

$$К_г(Т) = Т/(Т + t_п), \qquad (2)$$

де Т – міжповірочний інтервал;

$t_п$ – час знаходження на метрологічному обслуговуванні, що включає чергову перевірку після закінчення МПІ, ремонт ЗВТ, якщо він необхідний, і перевірку відремонтованого приладу.

При експлуатації кожен ЗВТ як можна більшу частину часу перебуває в робочому стані (перша вимога), що характеризується коефіцієнтом готовності ЗВТ. Друга вимога – значення ймовірності його безвідмовної роботи $Р(t)$ повинна бути не менше заданого припустимого значення $Р_0$.

З виразів (1) і (2) видно, що показник ефективності $К_{ef}$ залежить від значень міжповірочного інтервалу Т та часу знаходження ЗВТ на метрологічному обслуговуванні $t_п$. На значення $t_п$ впливає стан ЗВТ, ряд виробничих факторів, тобто взагалі $t_п$ – це випадкова величина з відповідною функцію розподілу, яку позначимо F(x), де $x= t_п$. Відповідно, $К_{ef}$, як функціонально пов'язана з $t_п$, також випадкова величина, функцію розподілу якої позначимо $W(К_{ef})$.

Функція розподілу $W(К_{ef})$ залежить від $Р(Т)$ і $F(x)$. Так як на час знаходження на метрологічному обслуговуванні впливає велика кількість різних факторів, доцільно визначити для $F(x)$ нормальний закон розподілу $N(x, \mu, \sigma)$, де $\mu$, $\sigma$ математичне очікування і середньоквадратичне відхилення часу $t_п$.

Таким чином, для дослідження $К_{ef}$, перш за все, необхідно визначити функцію розподілу $W(К_{ef})$ і відповідні статистичні характеристики. Для рішення цієї задачі пропонується використати метод комп'ютерного моделювання.

## 2. Методика моделювання для дослідження показника ефективності

Визначимо кроки процедури моделювання:

1. Задатись значеннями - міжповірочного інтервалу Т, інтенсивністю відмов $\lambda$, величинами $\mu$, $\sigma$.

2. Розрахувати значення $Р(Т, \lambda)$.

3. Здійснити моделювання випадкової величини x, з нормальним законом розподілу $N(x, \mu, \sigma)$.

4. На підставі формул (2) і (3) визначити $К_{ef}$.

5. Повторити п. 3, 4 не менш 100 разів.

6. Розрахувати статистичні характеристики $К_{ef}$.

Для одержання випадкових чисел з нормальним законом розподілу використовуємо широко вживаний метод Бокса-Мюллера [3].

Нехай $\varepsilon_0$, $\varepsilon_1$ незалежні випадкові величини, рівномірно розподілені на інтервалі [-1, 1]. Розрахуємо $s = \varepsilon_0^2 + \varepsilon_1^2$, як тільки виконається умова $0<s\leq 1$, за формулами

$$z_0 = \varepsilon_0\sqrt{-2\ln(s)/s},$$
$$z_1 = \varepsilon_1\sqrt{-2\ln(s)/s}. \qquad (3)$$

Тоді $z_0$ і $z_1$, які будуть незалежними нормальнорозподіленими величинами, і можна легко перейти до величини x розподіленої нормально з математичним очікуванням $\mu$ і стандартним відхиленням $\sigma$ по формулі $x= \mu+ \sigma z$.

Виконаємо моделювання, задаючи різні значення $\mu$, $\sigma$ – математичне очікування і середньоквадратичне для $t_п$, $\mu$ змінювалось від 25 до 150, $\sigma$ від 5 до 20. Також, змінювалось Т від 720 до 25920 (год.), $\lambda$ від 0,000001 до 0,00005 (1/год.). З різними сполученнями Т, $\lambda$, $\mu$, $\sigma$ визначався розподіл значень $К_{ef}$, тобто робилась оцінка виду функції $W(К_{ef})$. Після моделювання зроблена статистична обробка одержаних результатів. По результатам досліджень зроблено висновок, що $W(К_{ef})$ має нормальний закон розподілу з достовірністю не менш 95%.

Розкид значень $К_{ef}$ обумовлений впливом випадкових значень $t_п$. Таким чином, значення $К_{ef}$ не можна вважати постійною величиною, а буде залежати від $\mu$, $\sigma$ математичного очікування і середньоквадратичне відхилення $t_п$. Результати моделювання показали, що до збільшення середнього $К_{ef}$ приводе збільшення $\mu$ при $\sigma$=const, аналогічно збільшення середньоквадратичне відхилення $К_{ef}$ обумовлено збільшенням $\sigma$ при $\mu$=const.

На рис. 1 наведені типові залежності $К_{ef}$ від Т для постійного значення часу знаходження ЗВТ на метрологічному обслуговуванні $t_п$, функція $Р(Т, \lambda)$ має експоненціальний закон розподілу.

При постійних $\lambda$, $t_п$ спостерігається експоненціальне зменшення $К_{ef}$, що відповідає формулі (1).

Якщо $t_п$ – це випадкова величина з функцію розподілу $N(x, \mu, \sigma)$, що відповідає умовам реального виробництва, можна зробити висновок, що значення показника ефективності $К_{ef}$ з збільшенням Т практично не змінюється (рис. 2) і його значення з ймовірністю 95% будуть в інтервалі $[\bar{x} - 2s, \bar{x} + 2s]$, де $\bar{x}$ – середнє $К_{ef}$, s – середньоквадратичне відхилення $К_{ef}$.

ISSN 1727-7337 (print)
ISSN 2663-2217 (online)

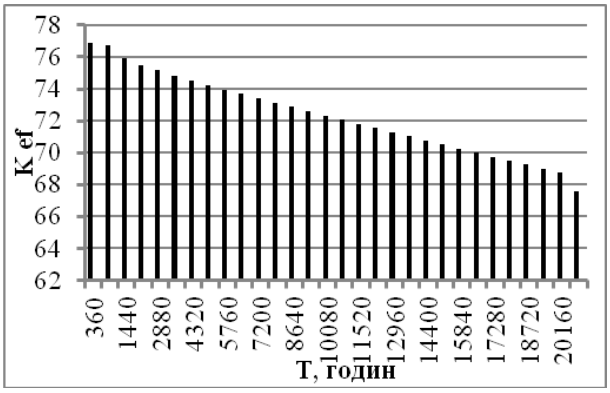


Рис. 1. Залежність $K_{ef}$ від T
при $1/\lambda$=200 000 год., $t_n$ =75 год.

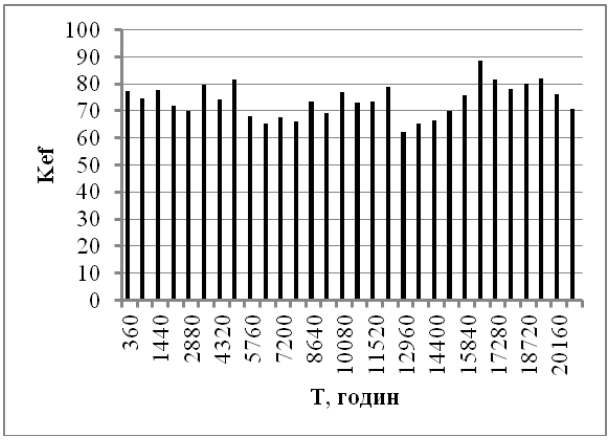


Рис. 2. Залежність $K_{ef}$ від T при μ=75, σ=10

## Висновок

Визначено показник ефективності експлуатації ЗВТ, як випадкову величину з певною функцію розподілу.

Показано, що показник ефективності має нормальний закон розподілу, якщо припустити такий же закон для часу знаходження ЗВТ на метрологічному обслуговуванні.

В умовах реального виробництва, якщо час знаходження ЗВТ на метрологічному обслуговуванні – випадкова нормально-розподілена величина, значення показника ефективності з збільшенням T практично не змінюється.

## Литература

*1. Ігнаткін, В. У. Коректування тривалості міжповірочних інтервалів засобів вимірювальної техніки за їх поточним технічним станом [Текст] / В. У. Ігнаткін, О. В. Томашевський // Авиационно-космическая техника и технология. – 2015. – № 8(125). – С. 119-122.*

*2. Томашевський, О. В. Дослідженння впливу на надійність засобів вимірювальної техніки параметрів системи метрологічного обслуговування [Текст] / О. В. Томашевський, В. У. Ігнаткін, Г. В. Сніжной // Авиационно-космическая техника и технология. – 2018. – № 8(152). – С. 118-121.*

*3. Преобразование Бокса-Мюллера / [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://ru.wikipedia.org/wiki/ – 12.03.2020.*

## References

1. Ihnatkin, V. U., Tomashevskyi, O. V. Korektuvannia tryvalosti mizhpovirochnykh intervaliv zasobiv vymiriuvalnoi tekhniky za yikh potochnym tekhnichnym stanom [Correction for calibration interval of measuring equipment at their current technical states]. *Aviacijno-kosmicna tehnika i tehnologia – Aerospace technic and technology*, 2015, no. 8(125), pp. 119-122.

2. Tomashevskyi, O. V., Ihnatkin, V. U., Snizhnoi, H. V. Doslidzhennnia vplyvu na nadiinist zasobiv vymiriuvalnoi tekhniky parametriv systemy metrolohichnoho obsluhovuvannia [Research on influence reliability a means of measurements parameters system of service metrological]. *Aviacijno-kosmicna tehnika i tehnologia – Aerospace technic and technology*, 2018, no. 8(152), pp. 118-121.

3. Preobrazovanye Boksa–Miullera [Box–Muller transform]. *Available at:* https://ru.wikipedia.org/wiki/ (accessed 12.03.2020).

*Надійшла до редакції 31.05.2020, розглянута на редколегії 15.08.2020*

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ МЕТОДОМ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ**

***А. В. Томашевский, Г. В. Снежной***

Эффективность эксплуатации средств измерительной техники (СИТ) имеет важное значение при определении расходов на содержание СИТ. Для характеристики эффективности эксплуатации СИТ введен показатель эффективности, увеличение которого позволит уменьшать расходы вызванные выпуском бракованной продукции из-за применения СИТ с недостоверными показаниями. С течением времени параметры СИТ меняются под влиянием внешних факторов и неизбежно протекают процессы старения СИТ, следствием

чего изменяются параметры системы метрологического обслуживания СИТ. Поэтому, в общем случае, параметры системы метрологического обслуживания СИТ необходимо рассматривать как случайные величины. Соответственно, показатель эффективности средств измерительной техники, также случайная величина, для определения которого целесообразно применять методы математической статистики и компьютерного моделирования. Показатель эффективности зависит от таких параметров системы метрологического обслуживания СИТ, как межповерочный интервал, время нахождения СИТ на метрологическом обслуживании и вероятности безотказной работы СИТ. Как случайная величина, показатель эффективности имеет определенную функцию распределения. Для определения функции распределения показателя эффективности и соответствующих статистических характеристик использован метод компьютерного моделирования. Проведено исследование влияния на показатель эффективности параметров системы метрологического обслуживания СИТ (межповерочного интервала, интенсивности отказов СИТ). Значение межповерочного интервала и интенсивности отказов СИТ менялось в широком диапазоне, характерного для реального производства. Время нахождения СИТ на метрологическом обслуживании рассмотрено как случайная величина с нормальным законом распределения. Для получения случайных чисел с нормальным законом распределения применен метод Бокса-Мюллера. После моделирования сделана статистическая обработка полученных результатов. Показано, что в условиях реального производства показатель эффективности имеет нормальный закон распределения и значение показателя эффективности с увеличением межповерочного интервала, практически не меняется.

**Ключевые слова:** измерительная техника; показатель эффективности средств измерительной техники; метод компьютерного моделирования.

## STUDY OF INDICATORS OF EFFICIENCY OF OPERATION OF MEANS OF MEASUREMENTS BY THE METHOD OF COMPUTER SIMULATION

***A. Tomashevskyi, G. Snizhnoi***

The operational efficiency of measuring equipment (ME) is important in determining the cost of maintaining ME. To characterize the operational efficiency of the ME, an efficiency indicator has been introduced, an increase of which will reduce costs caused by the release of defective products due to the use of ME with unreliable indications. Over time, the ME parameters change under the influence of external factors and the ME aging processes inevitably occur, as a result of which the parameters of the ME metrological service system change. Therefore, in the general case, the parameters of the metrological maintenance system of ME should be considered as random variables. Accordingly, the efficiency indicator of measuring instruments is also a random variable, for the determination of which it is advisable to apply the methods of mathematical statistics and computer simulation. The performance indicator depends on the parameters of the metrological maintenance ME system, such as the calibration interval, the time spent by the ME on metrological maintenance, and the likelihood of ME failure-free operation. As a random variable, the efficiency indicator has a certain distribution function. To determine the distribution function of the efficiency indicator and the corresponding statistical characteristics, a computer simulation method was used. A study was made of the influence on the indicator of the effectiveness of the parameters of the metrological maintenance system ME (interesting interval, the failure rate of ME). The value of the verification interval and the failure rate of MEs varied over a wide range typical of real production. The time spent by ME on metrological services is considered as a random variable with a normal distribution law. To obtain random numbers with a normal distribution law, the Box-Muller method is used. After modeling, the statistical processing of the obtained results was done. It is shown that in real production, the efficiency indicator has a normal distribution law and the value of the efficiency indicator with an increase in the calibration interval does not practically change.

**Keywords:** measuring equipment; efficiency index of measuring equipment; computer modeling method.

**Томашевський Олександр Володимирович** – канд. техн. наук, доц. каф. мікро- та наноелектроніки, Національний університет «Запорізька політехніка», Запоріжжя, Україна.

**Сніжной Геннадій Валентинович** – д-р техн. наук, проф. каф. мікро- та наноелектроніки, національний університет «Запорізька політехніка», Запоріжжя, Україна.

**Oleksandr Tomashevskyi** – Candidate of Technical Science, docent of Dept. of Micro- and Nanoelectronics, National University “Zaporizhzhia Polytechnic”, Zaporizhzhya, Ukraine,
e-mail: tmsh@email.ua, ORCID Author ID: 0000-0002-3306-5965.

**Gennadii Snizhnoi –** Doctor of Technical Sciences, professor of Dept. of Micro- and Nanoelectronics, National University “Zaporizhzhia Polytechnic”, Zaporizhzhya, Ukraine,
e-mail: snow@zntu.edu.ua, ORCID Author ID: 0000-0003-1452-0544, Scopus Author ID: 54406427800,
Researcher ID: Q-4033-2019, https://scholar.google.com.ua/citations?user=54406427800.