

Методика формирования показателя метрологической значимости контрольно-измерительной техники

С.И. Зубков^{1a}, Ю.А. Исаев^{1b}, А.С. Корнев^{1c}, Т.А. Луцкова^{1d}, Р.З.Хайруллин^{2e}

¹Главный научный метрологический центр Министерства обороны Российской Федерации, ул. Комарова, 13, Мытищи, Россия

²Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, Ярославское шоссе, 26, Москва, Россия

^aswyat2007@yandex.ru, ^byuri.isv@gmail.com, ^clexxkorban@yandex.ru, ^dfluke_56@mail.ru, ^ezrkzrk@list.ru

^a<https://orcid.org/0000-0002-7654-160X>,

^b<https://orcid.org/0000-0001-9779-7586>,

^c<https://orcid.org/0000-0002-2445-6323>,

^d<https://orcid.org/0000-0002-4503-1316>,

^e<https://orcid.org/0000-0002-1214-5069>

Статья поступила 09.11.2018, принята 15.08.2019

Предлагается методика формирования показателя метрологической значимости контрольно-измерительной техники, применяемой в машиностроении. В качестве исходных данных используются технические и эксплуатационные характеристики контрольно-измерительной техники, приведенные стоимости закупки и эксплуатации, статистические данные по эксплуатации объектов, на которых применяется указанная контрольно-измерительная техника. Основу методики составляет комплексное использование классической полумарковской модели эксплуатации в сочетании с новым подходом к оценке влияния метрологического обеспечения на достижение целей эксплуатации объектов, на которых установлена и эксплуатируется техника. В отличие от указанного нового подхода, в котором учитывается только стоимость эксплуатации, в предлагаемой методике учитывается суммарная стоимость закупки и эксплуатации. В качестве показателя метрологической значимости предлагается использовать максимальное значение отношения коэффициента готовности к суммарной стоимости закупки и эксплуатации. Дается геометрическая интерпретация показателя метрологической значимости. Результаты, описанные в статье, позволяют проводить сравнение разных типов и видов контрольно-измерительной техники, ранжировать технику по степени убывания метрологических характеристик и надежности, строить стратегии обновления парка контрольно-измерительной техники, используемой на станках с числовым программным управлением и роботизированных комплексах.

Ключевые слова: показатель метрологической значимости; контрольно-измерительная техника; машиностроение; станки с числовым программным управлением.

The method of forming the indicator of the metrological significance of control and measuring equipment

S.I. Zubkov^{1a}, Yu.A. Isaev^{1b}, A.S. Kornev^{1c}, T.A. Lutskova^{1d}, R.Z.Khairullin^{2e}

¹Main Scientific Metrology Center of the Ministry of Defense of Russian Federation; 13, Komarov St., Mytitschi, Russia

²Moscow State University of Civil Engineering; 26, Yaroslavskoye Shosse, Moscow, Russia

^aswyat2007@yandex.ru, ^byuri.isv@gmail.com, ^clexxkorban@yandex.ru, ^dfluke_56@mail.ru, ^ezrkzrk@list.ru

^a<https://orcid.org/0000-0002-7654-160X>,

^b<https://orcid.org/0000-0001-9779-7586>,

^c<https://orcid.org/0000-0002-2445-6323>,

^d<https://orcid.org/0000-0002-4503-1316>,

^e<https://orcid.org/0000-0002-1214-5069>

Received 09.11.2018, accepted 15.08.2019

The method of forming the indicator of the metrological significance of the control - measuring equipment used in mechanical engineering is proposed. The technical and operational characteristics of the control and measuring equipment, the present value of the purchase and operation, statistical data on the operation of facilities using the specified control and measuring equipment are used as the initial data. The basis of the methodology is the integrated use of the classical semi-Markov's model of operation in combination with the new approach to assessing the impact of metrological support on achieving the objectives of operating facilities, on which equipment is installed and operated. Unlike this new approach, which takes into account only the cost of operation, the proposed me-

thodology takes into account the total cost of procurement and operation. As an indicator of metrological significance, it is proposed to use the maximum value of the ratio of availability factor to the total cost of procurement and operation. A geometric interpretation of the indicator of metrological significance is given. The results described in the article allow comparing different types and types of testing and measuring equipment, ranking the equipment according to the degree of decrease of metrological characteristics, building strategies for updating the fleet of monitoring and measuring equipment used on machine tools with numerical program control and robotic complexes.

Keywords: indicator of metrological significance; control and measuring equipment; mechanical engineering; machine tools with numerical program control.

Введение

Важнейшую роль в обеспечении качества и конкурентоспособности продукции машиностроения [1; 2] играет контрольно-измерительная техника (КИТ) [3–11], установленная на автоматизированных производствах, станках с числовым программным управлением и роботизированных комплексах (СЧПУРК). Стабильность и метрологическая надежность КИТ являются необходимыми условиями достижения высокой точности измерений и обеспечения их единства. Поэтому исследования, направленные на увеличение точности измерений, надежности КИТ и СЧПУРК в целом, а также уменьшение суммарной стоимости закупки и эксплуатации КИТ и СЧПУРК, представляются актуальными.

КИТ, установленная на СЧПУРК, постепенно устаревает, деградирует в процессе эксплуатации и выходит из строя. Возникает необходимость ее замены на аналогичные, улучшенные или качественно новые образцы. Возможность широкого выбора видов и типов КИТ, в том числе многофункциональной КИТ, которой могут быть заменены вышедшие из строя или устаревшие образцы, приводит к необходимости разработки методики оценки метрологических характеристик КИТ и обоснованного выбора конкретного вида, типа и образца КИТ, используемого для замены.

Частные методики оценок эффективности применения средств метрологического обеспечения для специальной техники описаны в [12–14]. Большая часть этих методик опирается на полумарковские модели эксплуатации и направлена на оценку готовности объекта, на котором установлены эти средства, к применению по назначению. Методика формирования коэффициента метрологической значимости, основанная на комплексном использовании экспертных методов и коэффициента работоспособности, представлена в работе [15].

В работе [16] предлагается новый подход к оценке влияния метрологического обеспечения на достижение соответствующих целей. Описаны результаты использования этого подхода к задаче классификации средств метрологического обеспечения на основе минимума затрат на эксплуатацию и потенциальные потери, связанные с внештатными ситуациями, авариями и катастрофами.

В настоящей работе предлагается применение подхода к разработке методики формирования показателя метрологической значимости на основе учета затрат на закупку и эксплуатацию [16].

Математическая модель эксплуатации. Обозначим $\{E_i, i = 0, 2, \dots, m\}$ — конечное множество состояний, в которых может находиться конкретный СЧПУРК. Возможные состояния: E_0 — работоспособное состояние,

E_1 — отказ, E_2 — проверка отказавшего СЧПУРК, E_3 — восстановление, E_4 — проверка работоспособного СЧПУРК, E_5 — необнаруженный отказ.

Коэффициент готовности СЧПУРК, процесс эксплуатации которой описывается полумарковской моделью [12; 13], вычисляется по формуле:

$$K_r = \sum_{i=0}^n \pi_i w_i / \sum_{i=0}^n \pi_i v_i, \tag{1}$$

где π_i — относительная доля числа шагов, которые СЧПУРК находится в состоянии E_i ; w_i — математическое ожидание времени работы СЧПУРК в состоянии E_i ; v_i — математическое ожидание времени пребывания СЧПУРК в состоянии E_i .

При этом:

$$\sum_{i=0}^n \pi_i = 1, v_i = \sum_{i=0}^n P_{ij} M(\tau_{ij}) = \sum_{i=0}^n P_{ij} \int_0^{\infty} \tau_{ij} dF(\tau_{ij}),$$

$$w_i = \begin{cases} v_i & \text{— для рабочих состояний СЧПУРК} \\ 0 & \text{— для нерабочих состояний СЧПУРК} \end{cases}$$

где P_{ij} — элементы матрицы вероятностей переходов состояния $P^* = \|P_{ij}^*\|$; $F^*(\tau_{ij})$ — функция распределения вероятностей переходов; $M(\tau_{ij})$ — математическое ожидание времени перехода.

Непрерывно работающая СЧПУРК с периодическим контролем (периодической проверкой) технического состояния готова к применению в момент времени τ , если она в этот момент работоспособна и не находится на проверке или ремонте. Результаты контроля используются для принятия решения о возможности дальнейшего применения СЧПУРК. Если СЧПУРК по результатам проведенной проверки, признана работоспособной, то она включается в работу. Если СЧПУРК по результатам проверки признана отказавшей, то производится ее ремонт, в результате которого происходит полное восстановление работоспособности. Граф переходов приведен на рис. 1.

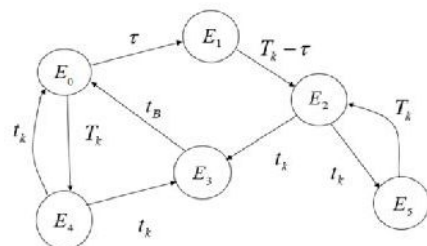


Рис.1. Граф переходов состояния

Стационарное решение полумарковской модели эксплуатации имеет вид [12; 13]:

$$\begin{aligned}
 \pi_0 &= \frac{1}{A}(1-\beta) \\
 \pi_1 &= \frac{1}{A}F(T_k)(1-\beta) \\
 \pi_2 &= \frac{1}{A}F(T_k) \\
 \pi_3 &= \frac{1}{A}\{F(T_k) + \alpha(1-F(T_k))\}(1-\beta), \\
 \pi_4 &= \frac{1}{A}[1-F(T_k)](1-\beta) \\
 \pi_5 &= \frac{1}{A}\beta F(T_k)
 \end{aligned} \tag{2}$$

где $A = 2[1-\beta + F(T_k)] + \alpha[1-F(T_k)](1-\beta)$.

Величины $v_i, i=0, \dots, 5$ равны:

$$\begin{aligned}
 v_0 &= \int_0^{T_k} \tau dF(\tau) + T_k[1-F(T_k)] \\
 v_1 &= T_k F(T_k) - \int_0^{T_k} \tau \cdot dF(\tau) \\
 v_2 &= t_K \\
 v_3 &= t_B \\
 v_4 &= t_K \\
 v_5 &= T_K
 \end{aligned} \tag{3}$$

Формула для коэффициента готовности:

$$K_G = \frac{v_0 \pi_0}{v_0 \pi_0 + v_1 \pi_1 + v_2 \pi_2 + v_3 \pi_3 + v_4 \pi_4 + v_5 \pi_5} \tag{4}$$

На рис. 2 и 3 изображены зависимости коэффициента готовности от периодичности проверок и вероятности ложного отказа при фиксированном значении вероятности необнаруженного отказа (вероятности необнаруженного отказа при фиксированном значении вероятности ложного отказа). Экстремальное значение достигается в единственной точке при некотором внутреннем значении $T_k \approx 80-300$ и минимально (максимально) возможных значениях α или β .

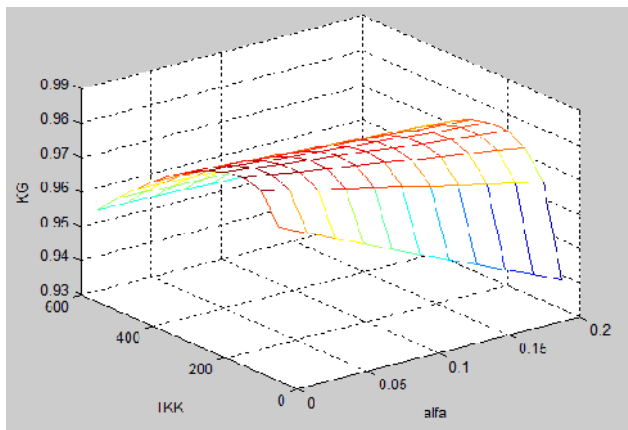


Рис. 2. Коэффициент готовности в зависимости от периодичности контроля и вероятности ложного отказа

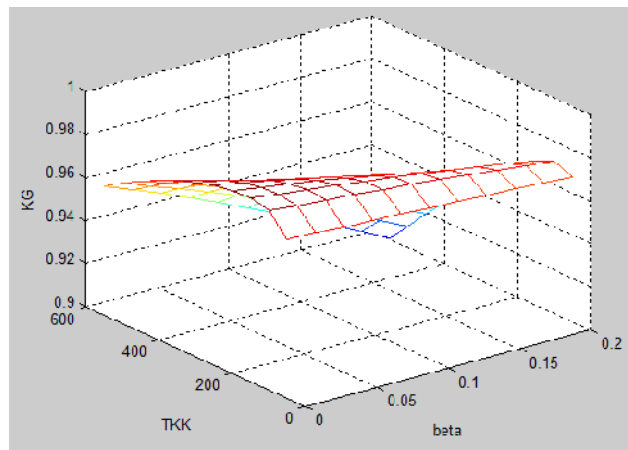


Рис. 3. Коэффициент готовности в зависимости от периодичности контроля и вероятности необнаруженного отказа

Отметим, что вероятности ложного и необнаруженного отказа связаны между собой. Вероятности ложного и необнаруженного отказа для различных сочетаний законов распределения вероятностей отказа СЧПУРК и законов распределения ошибок измерений (отклонения контролируемых параметров и погрешности измерений) распределены по нормальному закону; отклонения контролируемых параметров распределены по закону равной вероятности, погрешности измерений распределены по нормальному закону; отклонения контролируемых параметров распределены по нормальному закону, погрешности измерений распределены по закону равной вероятности) представлены в [12]:

$$\alpha = \alpha \left(\frac{\delta_{\Pi}}{\sigma_{TEX}}, \frac{\Delta \Sigma}{\delta_{\Pi}} \right), \beta = \beta \left(\frac{\delta_{\Pi}}{\sigma_{TEX}}, \frac{\Delta \Sigma}{\delta_{\Pi}} \right), \tag{5}$$

где σ_{TEX} — среднее квадратическое отклонение контролируемого параметра; $\delta_{\Pi} = x_B - x_H$ — допуск на контролируемый параметр, где x_B, x_H — верхнее и нижнее значения параметров, которые может иметь работоспособный элемент; $\Delta \Sigma$ — суммарная погрешность измерения контролируемого параметра.

Отметим, что при использовании конкретного образца КИТ «управлению поддаются» только допуск на контролируемый параметр δ_{Π} .

Методика расчета вероятности ложного и необнаруженного отказа. Для расчета вероятностей ложного и необнаруженного отказа (5) могут быть использованы аналитические выражения, представляющие собой повторные интегралы [12]; графический метод, основанный на использовании приведенных в [12; 13] графиков или метод, основанный на использовании таблиц, приведенных в ГОСТ-20738-75 «Надежность в технике. Расчет комплексных показателей надежности восстанавливаемых объектов (без резервирования)».

Методика расчета аргументов зависимости (5) в случае прямых измерений. При технических измерениях оценку границы полной или суммарной погрешности $\Delta \Sigma$ осуществляют на границе результирующей

систематической погрешности θ и доверительной границы случайной погрешности ψ . Для этого проще всего использовать выражение: $\Delta_{\Sigma} = \theta + \psi$ — суммарная погрешность измерения параметра.

Однако такая оценка будет завышенной. Более точная формула имеет вид [17]:

$$\Delta_{\Sigma} = (\theta + \psi) \sqrt{S_{\theta}^2 + S_{\psi}^2} / (S_{\theta} + S_{\psi}), \quad (6)$$

где S_{θ} — оценка среднего квадратического отклонения систематической составляющей погрешности, рассматриваемой как равномерно распределенная случайная величина; S_{ψ} — оценка среднего квадратического отклонения случайной составляющей погрешности.

Точные значения S_{θ} , S_{ψ} на практике получить сложно [12; 13], поэтому для упрощения расчетов предел суммарной погрешности определяют по формуле:

$$\Delta_{\Sigma} = (\theta + \psi) / \lambda, \quad (7)$$

где λ — функция отношения S_{θ} / S_{ψ} .

Если принять $\lambda = 0,85$, то относительная погрешность оценки предела Δ_{Σ} не будет превосходить 20%. Если положить:

$$\Delta_{\Sigma} = 0,9(\theta + \psi) \text{ при } \begin{cases} S_{\theta} / S_{\psi} \leq 0,25 \\ S_{\theta} / S_{\psi} \geq 4 \end{cases},$$

$$\Delta_{\Sigma} = 0,75(\theta + \psi) \text{ при } 0,25 < S_{\theta} / S_{\psi} < 4,$$

то погрешность оценки предела Δ_{Σ} составит 7–11%.

Границу суммарной погрешности измерений принимают равной границе случайной погрешности [18],

если $\theta / \sqrt{\sum_{q=1}^r \sigma_q^2} < 0,5$, либо границе систематической

погрешности, если $\theta / \sqrt{\sum_{q=1}^r \sigma_q^2} > 8$.

Методика расчета аргументов зависимости (5) в случае косвенных измерений. Значения неизвестной величины находят путем согласованного измерения других величин x_1, x_2, \dots, x_m , связанных с величиной y известной зависимостью: $y = f(x_1, x_2, \dots, x_m)$.

На практике для оценки точности косвенных измерений эту зависимость линеаризуют, и погрешность определения величины Y представляют в виде взвешенной суммы погрешностей измерения аргументов:

$$\delta y = \sum_{j=1}^m \left(\frac{\partial f}{\partial x_j} \right)_{cp} \cdot \delta x_j. \quad (8)$$

Выражение, стоящее в скобках, вычисляют при некоторых средних значениях аргументов.

После того, как определены частные составляющие систематической и случайной погрешностей, необходимо оценить границы общей систематической и случайной составляющей погрешностей. На практике они вычисляются по следующим формулам:

$$\theta = K_{\theta} \sqrt{\sum_{j=1}^m \theta_j^2}, \quad (9)$$

где $1,1 \leq K_{\theta} \leq 1,4$; θ_j — граница j -й систематической составляющей погрешности;

$$\psi = K_{\psi} \sqrt{\sum_{q=1}^m \sigma_q^2}, \quad (10)$$

где $2 \leq K_{\psi} \leq 2,6$, σ_q — среднее квадратическое отклонение q -й составляющей случайной погрешности.

Числовые множители выбираются, исходя из значений доверительных вероятностей, по заданным значениям технических характеристик: среднеквадратическому отклонению контролируемого параметра σ_{TEX} и δ_{II} — допуску на контролируемый параметр [12; 13] в соответствии с таблицей 1.

Таблица 1

Зависимость числового множителя для случайной и систематической погрешности в зависимости от доверительной вероятности

Доверительная вероятность	Значение числового множителя	
	для θ	для ψ
0,95	1,1	2
0,98	1,3	2,4
0,99	1,4	2,6

Методика формирования показателя метрологической значимости КИТ на основе максимального значения отношения коэффициента готовности к суммарной стоимости закупки и эксплуатации. Суммарные затраты на закупку и эксплуатацию будем оценивать с помощью формулы [16]:

$$L = C_{зак} + \sum_i c_i \pi_i, \quad (11)$$

где $C_{зак}$ — приведенная стоимость закупки; π_i — вероятность нахождения в состоянии E_i ; c_i — удельные затраты и потери, связанные с нахождением в состоянии E_i .

Алгоритм.

1. Задаются «технические и статистические» характеристики: среднеквадратическое отклонение контролируемого параметра σ_{TEX} , систематическая погрешность θ и доверительная граница случайной погрешности ψ . Вычисляется суммарная погрешность измеряемого параметра

$$\Delta_{\Sigma} = (\theta + \psi) \sqrt{S_{\theta}^2 + S_{\psi}^2} / (S_{\theta} + S_{\psi}) .$$

2. Для некоторого набора значений $\delta_{II} \in [\delta_{II}^{\min}, \delta_{II}^{\max}]$ с шагом $\Delta\delta_{II}$ вычисляются вероятности ложного и необнаруженного отказа α и β .

2.1. Для каждого конкретного значения δ_{II} ищется такое значение T_k , которое обеспечивает максимальное значение коэффициента готовности: $\max_{T_k} K_{Г}$.

2.2. Для каждого конкретного значения δ_{II} (соответствующего ему значения T_k из п.2.1) рассчитываются суммарные затраты на закупку и эксплуатацию (6).

3. Рассматривая параметрическую зависимость $\min_{T_k} K_{Г}$ от $L = C_{зак} + \sum_i c_i \pi_i$, в которой роль параметра играет δ_{II} , выберем такое значение параметра, для которого отношение

$$K_{ПМЗ} = \left(\max_{T_k} K_{Г} \right) / \left(C_{зак} + \sum_i c_i \pi_i \right) = tg(\varphi)$$

принимает максимальное значение (рис.4).

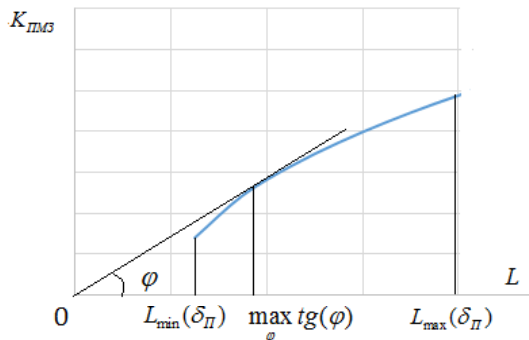


Рис. 4. Геометрическая интерпретация показателя метрологической значимости $K_{ПМЗ} = \max_{\varphi} tg(\varphi)$

Отметим, что для некоторых образцов КИТ $\max_{\varphi} tg(\varphi)$ достигается не во внутренней точке отрезка $[L_{\min}(\delta_{II}), L_{\max}(\delta_{II})]$, а при граничных значениях допуска: $L_{\min}(\delta_{II})$ или $L_{\max}(\delta_{II})$.

Отметим, что в процессе выполнения п.2,3 находятся оптимальные значения δ_{II} и T_k .

Описанная методика позволяет для каждого образца КИТ рассчитать отношение коэффициента готовности к суммарной удельной стоимости закупки и эксплуатации. Максимальное значение указанного отношения выбирается за показатель метрологической значимости данного образца КИТ.

На основе расчета показателя метрологической значимости $K_{ПМЗ}$ принимается решение о закупке того или иного образца КИТ вместо вышедшего из строя или устаревшего образца.

Выводы

Основные результаты работы состоят в следующем:

1. Разработана методика формирования показателя метрологической значимости КИТ на основе учета технических, эксплуатационных, статистических и экономических данных. Создано специализированное программное обеспечение, позволяющее рассчитывать вероятности ложного и необнаруженного отказа с использованием как табличных функций, так и на основе обработки имеющихся статистических данных. Дана геометрическая интерпретация показателя метрологической значимости.

2. Получила развитие классическая модель эксплуатации в следующих направлениях:

а) исследованы зависимости коэффициента готовности от периодичности контроля и вероятности ложного отказа (необнаруженного отказа). Построены соответствующие двумерные поверхности;

б) классическая модель эксплуатации дополнена табличными функциями, с помощью которых задаются зависимости ложного и необнаруженного отказа от технических, эксплуатационных и статистических характеристик КИТ. Установлена параметрическая связь между вероятностью ложного и необнаруженного отказа;

в) на основе применения нового подхода [8] для формирования оценки метрологической значимости впервые использована экономическая составляющая КИТ (стоимость закупки, ремонта, контроля, а также затраты, связанные с отказом).

3. Методика позволяет ранжировать различные типы и виды образцов КИТ с целью выбора наиболее подходящего из них для замены устаревшего или вышедшего из строя образца КИТ. Показатель метрологической значимости может служить как альтернативой, так и дополнением для коэффициента метрологической значимости, предложенного в [15].

4. Разработанная методика обладает достаточной универсальностью. Она применима для оценки метрологической значимости средств измерений, применяемых для оснащения специальной техники, а также контрольно-измерительных приборов, применяемых в сфере строительства и жилищно-коммунального хозяйства [19–20].

5. Предлагаемая методика является приближенной, поскольку использует стационарные решения полумарковской модели. Характерное время выхода на стационарные режимы составляет около 20–40% от среднего времени эксплуатации КИТ. Однако по сравнению с методиками, опирающимися на метод экспертных оценок, особенностями которых является высокий уровень субъективности принимаемых экспертами решений, предлагаемая методика не зависит от мнений и предпочтений экспертов.

Литература

1. Арбузов В.И. Основы системы менеджмента качества машиностроительного предприятия / В.И. Арбузов, Ж.А. Мрочек, А.Н. Панов, В.Л. Хартон. М.: Изд-во Знание, 2001.
2. Васильев А.С. Дальский А.М., Клименко С.А., Полонский Л.Г., Хейфец М.Л., Ящерицын П.И. Технологические основы управления качеством машин (Библиотека технолога). М.: Изд-во Машиностроение, 2003.

3. Mescheryakov Y., R. Mescheryakov Automated system of monitoring and positioning of functional units of mining technological machines for coal-mining enterprises // MATEC Web of Conferences. 2018. Vol. 161. P. 5.

4. Janiszewski J. Measurement procedure of ring motion with the use of high-speed camera during electromagnetic expansion Metrology and measuring systems. Vol.19. 2012. № 4. Pp. 797-804.

5. Zygarlicki J., Mroczka J. Prony's method used for testing harmonics and interharmonics in electrical power systems. Metrology and measuring systems. Vol. 19. 2012. № 4. Pp.659-672.

6. Григорьев С.Н., Телешевский В.И. Проблемы измерения в технологических процессах формообразования. Измерительная Техника. 2011. № 7. Pp. 3-7.

7. Chromcak J. The estimation of transition curves geometry in railway engineering from measured data. MATEC Web of Conferences 117, 00029. 2017. (XXVI R-S-P Seminar 2017, Theoretical Foundation of Civil Engineering).

8. Matseevich T., Askadskii A. Calculation of the viscosity of dispersions of nanoparticles with a polymer adsorption layer in a melt. MATEC Web of Conferences 117, 00117 (2017). XXVI R-S-P Seminar 2017, Theoretical Foundation of Civil Engineering.

9. Danisovic P., Sramek J., Hodon M., Hudik M. Testing measurements of airflow velocity in road tunnels. MATEC Web of Conferences 117, 00035 (2017) (XXVI R-S-P Seminar 2017, Theoretical Foundation of Civil Engineering).

10. Frishter L. Comparison of the stress and strain intensity factors for the corner area of the structure boundary. MATEC Web of Conferences 193, 03029. ESCI. 2018.

11. Сычев Е.В., Храменков В.Н., Шкитин А.Д. Основы метрологии военной техники. М.: Военное издательство. 1993. 400 с.

12. Королик В.С., Турбин А.Ф. Полумарковские процессы и их приложения. Киев: Наукова думка. 1976. 236 с.

13. Хайруллин Р.З., Сафонов А.А. Полумарковская модель эксплуатации радиоизмерительной техники с метрологическим обеспечением. Научное обозрение. № 19. 2017. С. 167-170.

14. Корнев А.С. Вопросы метрологического обеспечения роботизированных образцов вооружения и военной техники. Труды первой военно-научной конференции «Роботизация Вооруженных Сил Российской Федерации», 2016. С. 111-113.

15. Хайруллин Р.З., Попенков А.Я., Луцкова Т.А., Цыбульникова К.А. Распределение объемов контроля по целям метрологического обеспечения сложных организационно – технических систем с использованием полумарковских моделей. XI: международная конференция «Управление развитием крупномасштабных систем» (MLSD'2018). Москва. 2018. 2 с.

16. Розенберг В.Я. Введение в теорию точности измерительных систем. М.: Сов. Радио. 1975. 378 с.

17. Браславский Д.А., Петров В.В. Точность измерительных устройств. М.: Машиностроение. 1976. 462 с.

18. Маричев П.А., Корнев А.С., Хайруллин Р.З. К оптимальному управлению показателями эффективности парка контрольно – измерительной техники. Вестник МГСУ, № 5, 2017. С. 564-571.

19. Khayrullin R. On Preparing Offers for Targeted Development Programs in Housing and Communal Services. XXVI-th RSP Seminar “Theoretical Foundation of Civil Engineering”, MATEC Web Conf. of 117, 00076. 2017.

References

1. Arbuzov V.I., Mrochek Z.A., Panov A.H., Harton V.L. Bases of system of quality management of the machine-building enterprise. M: Publishing house Knowledge, 2001.

2. Vasilev A.S., Dalsky A.M., Klimenko S.A., L.G.Polonsky, Heifetz M.L., Jashcheritsyn P.I. Technological bases of quality management of cars (Library of the technologist). M.: Publishing house Mechanical engineering, 2003.

3. Mescheryakov Y., R. Mescheryakov Automated system of monitoring and positioning of functional units of mining technological machines for coal-mining enterprises // MATEC Web of Conferences. 2018. Vol. 161. P. 5.

4. Janiszewski J. Measurement procedure of ring motion with the use of high-speed camera during electromagnetic expansion Metrology and measuring systems. Vol.19. 2012. № 4. Pp. 797-804.

5. Zygarlicki J., Mroczka J. Prony's method used for testing harmonics and interharmonics in electrical power systems. Metrology and measuring systems. Vol. 19. 2012. № 4. Pp. 659-672.

6. Grigorev S.N., Teleshovsky V.I. Measurement problems in production processes формообразования. The measuring Technics. 2011 №7. Pp. 3-7.

7. Chromcak J. The estimation of transition curves geometry in railway engineering from measured data. MATEC Web of Conferences 117, 00029. 2017. (XXVI R-S-P Seminar. 2017, Theoretical Foundation of Civil Engineering).

8. Matseevich T., Askadskii A. Calculation of the viscosity of dispersions of nanoparticles with a polymer adsorption layer in a melt. MATEC Web of Conferences 117, 00117 (2017). XXVI R-S-P Seminar 2017, Theoretical Foundation of Civil Engineering.

9. Danisovic P., Sramek J., Hodon M., Hudik M. Testing measurements of airflow velocity in road tunnels. MATEC Web of Conferences 117, 00035 (2017) (XXVI R-S-P Seminar 2017, Theoretical Foundation of Civil Engineering).

10. Frishter L. Comparison of the stress and strain intensity factors for the corner area of the structure boundary. MATEC Web of Conferences 193, 03029. ESCI. 2018.

11. Sychev E.B., Hramenkov V.N, Shkitin A.D. As of metrology of military technology. M.: Military publishing house. 1993. 400 p.

12. Korolik V. S, Turbines A.F. Semimarkovsky processes and their appendices. Kiev: Scientific thoughts. 1976. 236 p.

13. Hajrullin R.Z, Safonov A.A. Semimarkovsky model of operation of radio measuring technics with metrological maintenance. A scientific review. № 19. 2017. Pp. 167-170.

14. Kornev A.S. Questions of metrological maintenance of the robotised samples of arms and military technology. Works of the first military-scientific conference «Robotizatsiya of Armed forces of the Russian Federation», 2016. Pp. 111-113.

15. Hajrullin R. Z, Popenkov A.J., Lutskova T.A., Tsybulnikova K.A.distribution of degrees of inspection on the purposes of metrological maintenance difficult organizational - technical systems with use полумарковских моделей. XI - the international conference «Management of development of large-scale systems» (MLSD' 2018). M. 2018. 2 p.

16. Rosenberg V.J. Introduction in the theory of accuracy of measuring systems Moscow of Owls. Radio. 1975. 378 p.

17. Braslavskij D.A., Petrov V.V. Tochnost of measuring equipments. Moscow. Mechanical engineering. 1976. 462 p.

18. Marichev P. A, Kornev A.S., Hajrullin R. Z. To optimum control of indicators of efficiency of park контрольно - the measuring technics. Bulletin MSBU. 2017. № 5. Pp. 564-571.

19. Khayrullin R. On Preparing Offers for Targeted Development Programs in Housing and Communal Services. XXVI-th RSP Seminar “Theoretical Foundation of Civil Engineering”, MATEC Web Conf. of 117, 00076. 2017.