

А. В. Григорьев, А. В. Лысенко, С. А. Бростилов, Э. В. Лапшин, М. Ю. Михеев

ПРИНЦИПЫ КОНФИГУРИРОВАНИЯ СИСТЕМ ИЗМЕРЕНИЯ ВИБРАЦИОННОГО ПЕРЕМЕЩЕНИЯ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА РАЗМЫТИЯ ИЗОБРАЖЕНИЯ КРУГЛОЙ МЕТКИ

A. V. Grigorev, A. V. Lysenko, S. A. Brostilov, E. V. Lapshin, M. Yu. Mikheev

CONFIGURATION PRINCIPLES OF MEASUREMENT SYSTEMS VIBRATION DISPLACEMENTS BASED ON THE ANALYSIS OF DEFOCUS OF THE IMAGE OF A CIRCULAR MARK

Аннотация. Актуальность и цели. В настоящее время быстро развивается перспективная технология измерения вибрационного перемещения, в основу которой положено сравнение структурных описаний одного и того же объекта – метки круглой формы, нанесенной на поверхность объекта контроля – одно из этих описаний получено при автоматизированном анализе четкого изображения при отсутствии вибрации; другое – при автоматизированном анализе размытого изображения при наличии вибрации. Размытие изображения происходит в результате воздействия вибрации на оригинал. Целью настоящей статьи является разработка методологии поиска технического компромисса между полем зрения регистрирующего устройства, его разрешающей способностью, радиусом круглой метки и приведенной погрешностью системы измерения вибрационного перемещения на основе анализа размытия изображения круглой метки. **Материалы и методы.** В основу статьи положены результаты математических и натурных экспериментов, проведенных авторами, материалы научных публикаций, в которых эти результаты анализируются и обобщаются. **Результаты.** Построен график приведенной погрешности измерения вибрационного перемещения на основе анализа размытия изображения круглой метки как функции количества пикселей, принадлежащих этому изображению. Разработана методика прогнозирования приведенной погрешности измерения вибрационного перемещения на основе анализа размытия изображения круглой метки при заданных параметрах регистрирующего устройства и тестового объекта. Рассмотрен числовой пример определения приведенной погрешности измерения при следующих заданных параметрах: поле зрения регистрирующего устройства, его разрешающая способность, радиус круглой метки. Рассмотрен числовой пример определения поля зрения регистрирующего устройства при следующих заданных параметрах: разрешающая способность регистрирующего устройства, радиус круглой метки, допустимая приведенная погрешность измерения.

Abstract. *Background.* Currently, a promising technology for measuring vibration movement is rapidly developing, which is based on the comparison of structural descriptions of the same object – a round mark applied to the surface of the object under control – one of these descriptions is obtained by automated analysis of a clear image in the absence of vibration; the other – by automated analysis of a blurred image in the presence of vibration. The image is blurred by vibration on the original. The purpose of this article is to develop a methodology for finding a technical compromise between the field of view of the recording device, its resolution, the radius of the circular mark and the reduced error of the vibration displacement measurement system based on the analysis of the image blur of the circular mark. *Materials and methods.* The article is based on the results of mathematical and field experiments conducted by the authors, materials of scientific publications in which these results are analyzed and generalized. *Results.* A graph of the reduced error of measurement of vibration movement based on the analysis of the blur image of the circular mark as a function of the number of pixels belonging to this image. The technique of predicting the reduced error of measurement of vibration movement based on the analysis of the image blur of the round mark with the specified parameters of the recording device and the test object. A numerical example of determining the reduced measurement error for the following parameters is considered: the field of view of the recording device, its resolution, the radius of the round mark. A numerical example of determining the field of view of the recording device is considered for the following parameters: resolution of the recording device, the radius of the round mark, the permissible reduced measurement error. *Summary.* The graph constructed in this article allows, given the number of pixels per image of the circular mark, to determine the reduced error of measurement of the vibration movement of the investigated point based on the analysis of the blur of this image. The same graph allows you to determine the number of pixels that should fall on the image of the round mark by specifying the required allowable reduced error of

Выводы. Построенный в настоящей статье график позволяет, задавшись количеством пикселей, приходящихся на изображение круглой метки, определить приведенную погрешность измерения вибрационного перемещения исследуемой точки на основе анализа размытия этого изображения. Этот же график позволяет, задавшись требуемой допустимой приведенной погрешностью измерения вибрационного перемещения, определить количество пикселей, которое должно приходиться на изображение круглой метки. Разработанные методики устанавливают соответствие между шириной поля зрения регистрирующего устройства, его форматом, разрешающей способностью регистрирующего устройства, радиусом круглой метки и приведенной погрешностью измерения вибрационного перемещения. Задавшись любыми четырьмя из этих параметров, можно определить оставшийся пятый.

Ключевые слова: вибрационное перемещение, размытие, изображение, круглая метка, матрица, приведенная погрешность, амплитуда, аппликата, прогнозирование, радиус, формат, пиксель, растр, функция, модель.

measurement of the vibration movement. The methods developed in this article establish a correspondence between the width of the field of view of the recording device, its format, the resolution of the recording device, the radius of the round mark and the reduced error of measurement of vibration movement. Given any four of these parameters, you can determine the remaining fifth.

Keywords: vibrational movement, blur, image, round label, matrix, reduced error, amplitude, applique, prediction, radius, format, pixel, raster, function, model.

Введение

Проблема обеспечения надежности и качества сложных систем требует комплексного подхода к ее решению [1, 2]. Важной его составляющей является создание высокоточных, надежных и экономичных средств обнаружения дефектов в латентной их фазе, т.е. на стадии их зарождения и развития, когда они еще не изменяют значимо свойств оборудования [3]. Одним из наиболее распространенных методов обнаружения таких дефектов является метод вибрационной диагностики. Сущность этого метода заключается в измерении распределения параметров вибрации по фрагменту поверхности объекта контроля, анализе этого распределения, сравнении результатов анализа зарегистрированного распределения с эталонным и предыдущим. Развивающийся дефект вносит изменения в картину распределения параметров вибрации по фрагменту поверхности объекта контроля [4]. В настоящей статье рассматриваются принципы конфигурирования систем измерения вибрационного перемещения на основе анализа размытия изображения круглой метки.

Современное состояние вопроса

Методология анализа вибрационного размытия изображения круглой метки с целью измерения параметров, вызвавшей это размытие вибрации, предполагает формирование и анализ отсеченных сегментов, на которые разбивается размытое вибрацией изображение [5]. Структура методики анализа изображения круглой метки с вибрационным размытием представлена в статье [6]. Обобщенные принципы анализа сформированных отсеченных сегментов в рамках этой методики изложены в работе [7]. На основе результатов обработки отсеченных сегментов изображения круглой метки с вибрационным размытием вычисляются компоненты и модуль вектора амплитуды вибрационного перемещения исследуемой точки объекта контроля [8]. Обобщенная структура методики измерения параметров вибраций на основе анализа размытия изображения круглой метки изложена в статье [9]. Специфические особенности анализа размытия изображения круглой метки при прямолинейном вибрационном перемещении исследуемой точки изложены в статье [10]. Особенности отображения вектора амплитуды такого вибрационного перемещения рассмотрены в публикации [11]. В работе [12] исследуется процесс формирования размытого прямолинейным вибрационным перемещением изображения. Основные принципы моделирования процессов формирования размытого изображения круглой метки в двух предельных ситуациях: при вибрационном перемещении в плоскости изображения и в направлении, перпендикулярном этой плоскости, изложены в работе [13].

Приведенная погрешность измерения вибрационного перемещения исследуемой точки как функция количества пикселей, приходящихся на изображение круглой метки

Под приведенной погрешностью измерений понимается относительная погрешность измерений при значении измеряемой величины, равном некоторому нормирующему значению [14]. В качестве такого нормирующего значения обычно принимается ожидаемое максимальное значение измеряемой величины при заданных условиях измерений. Например, класс точности прибора – это, как известно, относительная погрешность измерений, если измеряемая величина принимает максимальное на заданном пределе измерений значение.

Изображение радиуса изображения круглой метки, его приращение и другие линейные размеры на изображении измеряются в растровых единицах. Под растровой единицей понимается расстояние между центрами пикселей, граничащих друг с другом в строке или столбце [15].

Относительное приращение радиуса изображения круглой метки при нормирующем значении вибрационного перемещения исследуемой точки $L_{zrel}(M_N)$ определяется по формуле

$$L_{zrel}(M_N) = \frac{L_z(M_N)}{l_0} \cdot 100\%, \quad (1)$$

где $L_z(M_N)$ – приращение радиуса изображения круглой метки при нормирующей амплитуде вибрационного перемещения исследуемой точки по аппликату; l_0 – радиус четкого изображения круглой метки при отсутствии вибрации.

Для условий эксперимента, представленного в работе [16], этот параметр равен 0,991259 %.

На основании экспериментальных данных путем вычислений по методике, представленной в статье [17], получена функция приведенной погрешности измерения вибрационного перемещения, аргументом которой является количество пикселей, приходящихся на изображение метки, т.е. площадь изображения метки при отсутствии вибрации, выраженная в run^2 (рис. 1).

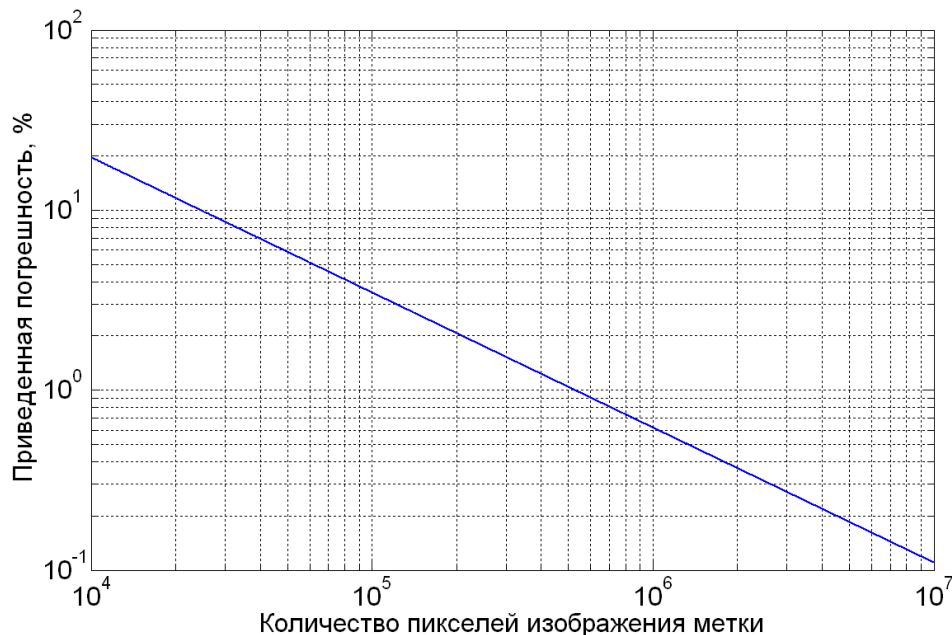


Рис. 1. Приведенная погрешность измерения вибрационного перемещения как функция площади изображения круглой метки

Прогнозирование приведенной погрешности при измерении вибрационного перемещения исследуемой точки

На рис. 2 представлена модель изображения круглой метки диаметром 4 мм при высоте раstra регистрирующего устройства 6 мм.

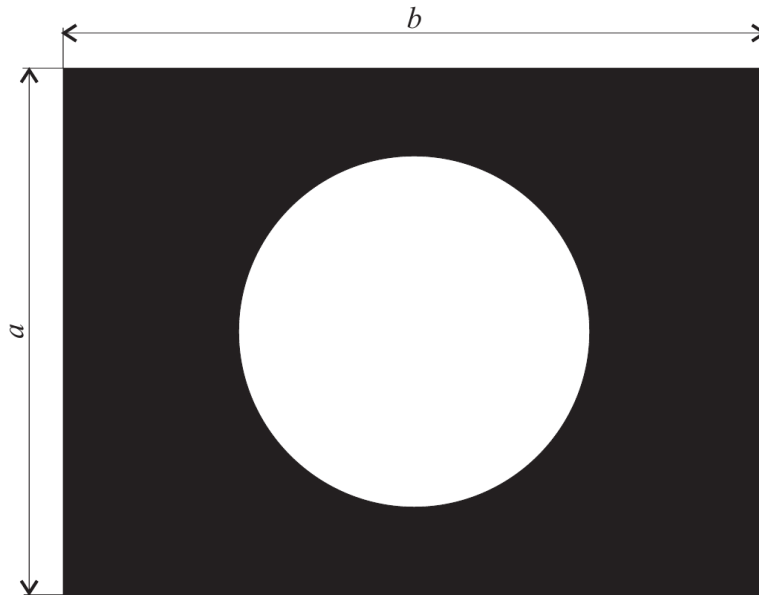


Рис. 2. Модель изображения круглой метки диаметром 4 мм при высоте раstra регистрирующего устройства 6 мм

Метка линейно проецируется на светочувствительную поверхность регистрирующего устройства, в результате чего на этой поверхности формируется непрерывное изображение метки, которое подвергается дискретизации фотоприемной матрицей регистрирующего устройства. Из линейного характера проекции следует, что

$$\frac{S_f}{S_t} = \frac{S_{gim}}{S_{imt}}, \quad (2)$$

где S_f – площадь поля зрения фотокамеры, измеренная в мм^2 ; S_t – площадь оригинала метки, измеренная в мм^2 ; S_{gim} – площадь всего растрового изображения, измеренная в run^2 ; S_{imt} – площадь изображения метки, измеренная в run^2 .

Отсюда

$$S_{imt} = \frac{S_t \cdot S_{gim}}{S_f}. \quad (3)$$

Площадь оригинала метки определится по формуле

$$S_t = \frac{\pi d_t^2}{4}, \quad (4)$$

где d_t – диаметр оригинала метки, измеренный в мм (см. рис. 2).

Площадь поля зрения фотокамеры S_f , измеренная в мм^2 , определится как произведение его ширины a и его длины b (см. рис. 2):

$$S_f = ab. \quad (5)$$

Из принципа подобия поля зрения регистрирующего устройства и формируемого им растрового изображения следует, что

$$\frac{a}{b} = f_r, \quad (6)$$

где f_r – отношение количества строк фотоприемной матрицы регистрирующего устройства к количеству ее столбцов.

Сопоставление формул (3)–(6) приводит к получению расчетной формулы для S_{imt0}

$$S_{imt0} = \frac{\pi d_i^2 f_r S_{gim}}{4a^2}. \quad (7)$$

Если, например, в качестве регистрирующего устройства применяется фотокамера с разрешающей способностью 5 Мрх, то это означает, что площадь всего растрового изображения $S_{gim} = 5 \cdot 10^6 \text{ run}^2$. Если при этом $a = 6 \text{ мм}$, а $f_r = 0,75$, то расчет по формуле (7) покажет, что $S_{imt0} = 1,30900 \cdot 10^6 \text{ run}^2$. Расчеты по методике, представленной в статье [17], показывают, что приведенная погрешность измерения вибрационного перемещения исследуемой точки $\delta_N M$ при нормирующем его значении 1000 мкм составляет 0,506737 %.

Таким образом, приведенная погрешность измерения амплитуды вибрационного перемещения по аппликату с помощью фотокамеры с разрешающей способностью 5 Мрх при нормирующем значении измеряемой величины 1000 мкм не превысит 0,51 %.

Расчет параметров поля зрения регистрирующего устройства при заданном максимальном значении приведенной погрешности измерения вибрационного перемещения каждой из исследуемых точек

Предлагаемая методика измерения вибрационного перемещения исследуемой точки предоставляет возможность одновременного измерения вибрационных перемещений нескольких точек, расположенных в поле зрения регистрирующего устройства, т.е. возможность измерения параметров распределения вибрационного перемещения на участке плоской поверхности объекта контроля. Для решения этой задачи на плоскую поверхность объекта контроля наносится сетка из круглых меток одинакового диаметра (рис. 3).

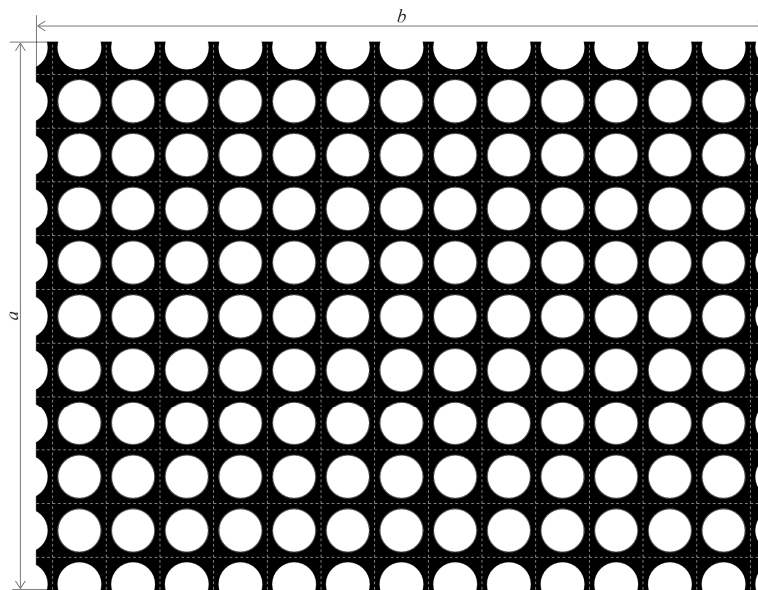


Рис. 3. Матрица круглых меток в поле зрения регистрирующего устройства

Пусть, например, требуется вычислить максимальные ширину $a_{\max}$ и длину $b_{\max}$ поля зрения регистрирующего устройства, при которых возможно измерение амплитуд вибрационных перемещений исследуемых точек с приведенной погрешностью, не превышающей некоторое предельное значение $\delta_{N\max} M$. При этом заданы нормирующее значение вибрационного перемещения исследуемой точки M_N , диаметр метки d_i , разрешающая способность регистрирующего устройства S_{gim} , отношение количества строк фотоприемной матрицы регистрирующего устройства к количеству ее столбцов f_r .

Максимальная ширина поля зрения регистрирующего устройства определится как решение уравнения (7):

$$a_{\max} = d_t \sqrt{\frac{\pi f_r S_{gim}}{4 S_{imt0min}}} . \quad (8)$$

Площадь изображения метки при отсутствии вибрации $S_{imt0min}$ определится на основе функции приведенной погрешности измерительного преобразования, аналогичной той, которая графически представлена на рис. 1.

Длина $b_{\max}$ поля зрения регистрирующего устройства рассчитывается по формуле, полученной на основе соотношения (6):

$$b_{\max} = \frac{a_{\max}}{f_r} . \quad (9)$$

Если, например, задана максимальная приведенная погрешность измерения $\delta_{N\max} M = 5 \%$ при нормирующем вибрационном перемещении исследуемой точки $M_N = 1000$ мкм, диаметр метки $d_t = 4$ мм. В качестве регистрирующего устройства используется фотокамера с разрешающей способностью 5 Мрх и со стандартным отношением высоты приемного раstra к его ширине 3 × 4.

Для решения этой задачи вначале следует определить минимальную площадь изображения метки при отсутствии вибрации $S_{imt0min}$, достаточную для выполнения условия $\delta_N M \leq 5 \%$. $S_{imt0min}$ найдется из табл. 1, полученной по результатам анализа функции приведенной погрешности измерений, графически представленной на рис. 1.

Таблица 1

Фрагмент функции приведенной погрешности измерения амплитуды вибрационного перемещения

S_{imt0}, run^2	61700	61800	61900	62000	62100
$\delta_N M, \%$	5,00925	5,00317	4,99711	4,99106	4,98503

Из табл. 1 видно, что в качестве $S_{imt0min}$ корректно принять значение $S_{imt0min} = 61900 \text{ run}^2$. Поскольку в качестве регистрирующего устройства используется фотокамера с разрешающей способностью 5 Мрх и со стандартным отношением высоты приемного раstra к его ширине 3 × 4, $S_{gim} = 5 \cdot 10^6 \text{ run}^2$, $f_r = 0,75$. Диаметр метки $d_t = 4$ мм по условию. По формуле (8) $a_{\max} = 27,5915 \text{ мм} \approx 28 \text{ мм}$. По формуле (9) $b_{\max} = 36,7887 \text{ мм} \approx 37 \text{ мм}$.

Таким образом, представленная методика позволяет с помощью фотокамеры с разрешающей способностью 5 Мрх измерять распределение вибрационного перемещения на участке плоской поверхности объекта контроля, размеры которого 28 × 37 мм. Приведенная погрешность измерений при нормирующем значении измеряемой величины 1000 мкм не превысит 5 %.

Заключение

Проведено исследование приведенной погрешности измерения амплитуды вибрационного перемещения исследуемой точки как функции количества пикселей, приходящихся на изображение круглой метки, по результатам которого построен график, отражающий соответствие между приведенной погрешностью измерения амплитуды вибрационного перемещения и количеством пикселей, принадлежащих изображению круглой метки.

Разработаны принципы прогнозирования приведенной погрешности измерения амплитуды вибрационного перемещения исследуемой точки по аппликату.

На конкретном числовом примере выполнено прогнозирование приведенной погрешности измерения амплитуды вибрационного перемещения на основании известных: разрешающей способности регистрирующего устройства, высоты и формата его раstra, диаметра круглой метки.

На конкретном числовом примере выполнен расчет высоты и ширины приемного раstra регистрирующего устройства при заданных допустимой приведенной погрешности, диаметре круглой метки, разрешающей способности и формате регистрирующего устройства.

Библиографический список

1. *Lysenko, A. V.* Optimizing structure of complex technical system by heterogeneous vector criterion in interval form / A. V. Lysenko, I. I. Kochegarov, N. K. Yurkov, A. K. Grishko // Journal of Physics: Conference Series. – 2018. – Vol. 1015, iss. 4. – DOI 10.1088/1742-6596/1015/4/042032.

2. Гришко, А. К. Многокритериальный выбор оптимального варианта сложной технической системы на основе интервального анализа слабоструктурированной информации / А. К. Гришко, И. И. Кочегаров, А. В. Лысенко // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. – 2017. – № 3 (21). – С. 97–107.
3. Кузнецов, Н. С. Гибридный интеллект инженерии гетероструктур вычислительной техники / Н. С. Кузнецов, В. В. Смогунов, Л. Р. Фионова, Н. К. Юрков // Надежность и качество сложных систем. – 2018. – № 3 (23). – С. 85–97.
4. Гришко, А. К. Прогнозирование и оптимизация управления процессов проектирования сложных технических систем в масштабе реального времени / А. К. Гришко, А. В. Лысенко, С. А. Моисеев // Надежность и качество сложных систем. – 2018. – № 1 (21). – С. 40–45.
5. Григорьев, А. В. Формирование и описание отсчетных сегментов следа вибрационного размытия изображения круглой метки / А. В. Григорьев, А. В. Затылкин, А. В. Лысенко, Г. В. Таньков // Труды Международного симпозиума Надежность и качество. – 2016. – Т. 2. – С. 31–37.
6. Григорьев, А. В. Структура методики анализа следа вибрационного размытия изображения круглой метки / А. В. Григорьев, Н. К. Юрков, В. А. Трусов, В. Я. Баннов // Труды Международного симпозиума Надежность и качество. – 2016. – Т. 2. – С. 28–31.
7. Анализ отсчетных сегментов следа вибрационного размытия изображения круглой метки / А. В. Григорьев, И. И. Кочегаров, С. А. Бростилов, Н. В. Горячев, П. Г. Андреев // Труды Международного симпозиума Надежность и качество. – 2016. – Т. 2. – С. 37–41.
8. Вычисление выходных параметров системы измерения модуля и компонент вектора вибрационного перемещения исследуемой материальной точки объекта контроля / А. В. Григорьев, А. К. Гришко, Э. В. Лапшин, И. Ю. Наумова, Е. А. Данилова, Н. К. Юрков // Труды Международного симпозиума Надежность и качество. – 2016. – Т. 2. – С. 41–44.
9. Структура методики измерения параметров вибраций по следу размытия изображения круглой метки / А. В. Григорьев, Е. А. Данилова, С. А. Бростилов, И. Ю. Наумова, Э. В. Лапшин, А. А. Баранов // Труды Международного симпозиума Надежность и качество. – 2015. – Т. 2. – С. 13–16.
10. Структурное описание размытия изображения круглой метки при возвратно-поступательном вибрационном перемещении исследуемой материальной точки / Г. Ж. Надырбеков, А. В. Григорьев, И. И. Кочегаров, А. В. Лысенко, Н. А. Стрельцов // Труды Международного симпозиума Надежность и качество. – 2017. – Т. 2. – С. 11–13.
11. Каражанов, Б. Б. Особенности отображения вектора вибрационного перемещения материальной точки в плоскости изображения / Б. Б. Каражанов, А. В. Григорьев, Е. А. Данилова, А. К. Гришко // Труды Международного симпозиума Надежность и качество. – 2017. – Т. 2. – С. 16–20.
12. Анализ размытия изображения круглой метки при возвратно-поступательном вибрационном перемещении исследуемой материальной точки / Д. Х. Нуржанов, А. В. Григорьев, В. А. Трусов, В. Я. Баннов, Н. А. Стрельцов // Труды Международного симпозиума Надежность и качество. – 2017. – Т. 2. – С. 14–16.
13. Моделирование следа размытия изображения круглой метки при ее компланарном и ортогональном виброперемещениях / А. В. Григорьев, В. А. Трусов, В. Я. Баннов, П. Г. Андреев, Г. В. Таньков // Труды Международного симпозиума Надежность и качество. – 2015. – Т. 1. – С. 107–109.
14. РМГ 29-2013. Метрология. Основные термины и определения. – Москва, 1988. – 10 с.
15. ГОСТ 27459-87. Системы обработки информации. Машинная графика. Термины и определения. – Москва : Стандартинформ, 2014. – 30 с.
16. Григорьев, А. В. Динамическая калибровочная характеристика виброметра, использующего размытие изображения круглой метки / А. В. Григорьев, К. А. Чувашлев, И. Ю. Наумова, В. Я. Баннов // Труды Международного симпозиума Надежность и качество. – 2018. – Т. 2. – С. 82–85.
17. Григорьев, А. В. Вероятностное прогнозирование погрешностей измерения радиуса изображения круглой метки по технологиям подсчета строк и пикселей / А. В. Григорьев, А. А. Чибриков, Г. В. Таньков, Е. А. Данилова // Труды Международного симпозиума Надежность и качество. – 2018. – Т. 1. – С. 252–254.

References

1. Lysenko A. V., Kochegarov I. I., Yurkov N. K., Grishko A. K. *Journal of Physics: Conference Series*. 2018, vol. 1015, iss. 4. DOI 10.1088/1742-6596/1015/4/042032.
2. Grishko A. K., Kochegarov I. I., Lysenko A. V. *Izmerenie. Monitoring. Upravlenie. Kontrol'* [Measurement. Monitoring. Management. Control]. 2017, no. 3 (21), pp. 97–107. [In Russian]
3. Kuznetsov N. S., Smogunov V. V., Fionova L. R., Yurkov N. K. *Nadezhnost' i kachestvo slozhnykh system* [Reliability and quality of complex systems]. 2018, no. 3 (23), pp. 85–97. [In Russian]
4. Grishko A. K., Lysenko A. V., Moiseev S. A. *Nadezhnost' i kachestvo slozhnykh system* [Reliability and quality of complex systems]. 2018, no. 1 (21), pp. 40–45. [In Russian]
5. Grigor'ev A. V., Zatylnkin A. V., Lysenko A. V., Tan'kov G. V. *Trudy Mezhdunarodnogo simpoziuma Nadezhnost' i kachestvo* [Proceedings of the international symposium Reliability and quality]. 2016, vol. 2, pp. 31–37. [In Russian]

6. Grigor'ev A. V., Yurkov N. K., Trusov V. A., Bannov V. Ya. *Trudy Mezhdunarodnogo simpoziuma Nadezhnost' i kachestvo* [Proceedings of the international symposium Reliability and quality]. 2016, vol. 2, pp. 28–31. [In Russian]
7. Grigor'ev A. V., Kochegarov I. I., Brostilov S. A., Goryachev N. V., Andreev P. G. *Trudy Mezhdunarodnogo simpoziuma Nadezhnost' i kachestvo* [Proceedings of the international symposium Reliability and quality]. 2016, vol. 2, pp. 37–41. [In Russian]
8. Grigor'ev A. V., Grishko A. K., Lapshin E. V., Naumova I. Yu., Danilova E. A., Yurkov N. K. *Trudy Mezhdunarodnogo simpoziuma Nadezhnost' i kachestvo* [Proceedings of the international symposium Reliability and quality]. 2016, vol. 2, pp. 41–44. [In Russian]
9. Grigor'ev A. V., Danilova E. A., Brostilov S. A., Naumova I. Yu., Lapshin E. V., Baranov A. A. *Trudy Mezhdunarodnogo simpoziuma Nadezhnost' i kachestvo* [Proceedings of the international symposium Reliability and quality]. 2015, vol. 2, pp. 13–16. [In Russian]
10. Nadyrbekov G. Zh., Grigor'ev A. V., Kochegarov I. I., Lysenko A. V., Strel'tsov N. A. *Trudy Mezhdunarodnogo simpoziuma Nadezhnost' i kachestvo* [Proceedings of the international symposium Reliability and quality]. 2017, no. 2, pp. 11–13. [In Russian]
11. Karazhanov B. B., Grigor'ev A. V., Danilova E. A., Grishko A. K. *Trudy Mezhdunarodnogo simpoziuma Nadezhnost' i kachestvo* [Proceedings of the international symposium Reliability and quality]. 2017, vol. 2, pp. 16–20. [In Russian]
12. Nurzhanov D. Kh., Grigor'ev A. V., Trusov V. A., Bannov V. Ya., Strel'tsov N. A. *Trudy Mezhdunarodnogo simpoziuma Nadezhnost' i kachestvo* [Proceedings of the international symposium Reliability and quality]. 2017, vol. 2, pp. 14–16. [In Russian]
13. Grigor'ev A. V., Trusov V. A., Bannov V. Ya., Andreev P. G., Tan'kov G. V. *Trudy Mezhdunarodnogo simpoziuma Nadezhnost' i kachestvo* [Proceedings of the international symposium Reliability and quality]. 2015, vol. 1, pp. 107–109. [In Russian]
14. RMG 29-2013. *Metrologiya. Osnovnye terminy i opredeleniya* [RMG 29-2013. Metrology. Basic terms and definitions]. Moscow, 1988, 10 p. [In Russian]
15. GOST 27459-87. *Sistemy obrabotki informatsii. Mashinnaya grafika. Terminy i opredeleniya* [GOST 27459-87. Information processing system. Computer graphics. Terms and definitions]. Moscow: Standartinform, 2014, 30 p. [In Russian]
16. Grigor'ev A. V., Chuvashlev K. A., Naumova I. Yu., Bannov V. Ya. *Trudy Mezhdunarodnogo simpoziuma Nadezhnost' i kachestvo* [Proceedings of the international symposium Reliability and quality]. 2018, vol. 2, pp. 82–85. [In Russian]
17. Grigor'ev A. V., Chibrikov A. A., Tan'kov G. V., Danilova E. A. *Trudy Mezhdunarodnogo simpoziuma Nadezhnost' i kachestvo* [Proceedings of the international symposium Reliability and quality]. 2018, vol. 1, pp. 252–254. [In Russian]

Григорьев Алексей Валерьевич

кандидат технических наук, доцент,
кафедра конструирования
и производства радиоаппаратуры,
Пензенский государственный университет
(440026, Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)
E-mail: a_grigorev@mail.ru

Лысенко Алексей Владимирович

кандидат технических наук, доцент,
кафедра конструирования
и производства радиоаппаратуры,
Пензенский государственный университет
(440026, Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)
E-mail: lysenko_av@bk.ru

Бростилов Сергей Александрович

кандидат технических наук, доцент,
кафедра конструирования
и производства радиоаппаратуры,
Пензенский государственный университет
(440026, Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)
E-mail: kipra@mail.ru

Grigoriev Alexey Valeryevich

candidate of technical sciences, associate professor,
sub-department of radio equipment design
and production,
Penza State University
(440026, 40 Krasnaya street, Penza, Russia)

Lysenko Alexey Vladimirovich

candidate of technical sciences, associate professor,
sub-department of radio equipment design
and production,
Penza State University
(440026, 40 Krasnaya street, Penza, Russia)

Brostilov Sergey Alexandrovich

candidate of technical sciences, associate professor,
sub-department of radio equipment design
and production,
Penza State University
(440026, 40 Krasnaya street, Penza, Russia)

Лапшин Эдуард Владимирович

доктор технических наук, профессор,
кафедра конструирования
и производства радиоаппаратуры,
Пензенский государственный университет
(440026, Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)
E-mail: kipra@mail.ru

Михеев Михаил Юрьевич

доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой информационных
технологий и систем,
Пензенский государственный технологический
университет
(440039, Россия, г. Пенза,
проезд Байдукова/ул. Гагарина, 1а/11)
E-mail: mix1959@gmail.com

Lapshin Eduard Vladimirovich

doctor of technical sciences, professor,
sub-department of radio equipment design
and production,
Penza State University
(440026, 40 Krasnaya street, Penza, Russia)

Mikheev Mikhail Yuriyevich

doctor of technical sciences, professor,
head of sub-department of informational technologies
and systems,
Penza State Technological University
(440039, 1a/11 Baydukov passage/Gagarin street,
Penza, Russia)

Образец цитирования:

Григорьев, А. В. Принципы конфигурирования систем измерения вибрационного перемещения на основе анализа размытия изображения круглой метки / А. В. Григорьев, А. В. Лысенко, С. А. Бро-стилов, Э. В. Лапшин, М. Ю. Михеев // Надежность и качество сложных систем. – 2019. – № 4 (28). – С. 78–86. – DOI 10.21685/2307-4205-2019-4-8.