

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

COMPUTER SCIENCE, COMPUTER ENGINEERING AND CONTROL

УДК 004.932.2

doi:10.21685/2072-3059-2022-3-1

Оценка интенсивности вибрации на основе анализа изображения тестового объекта круглой формы с вибрационным размытием

А. В. Григорьев

Пензенский государственный университет, Пенза, Россия

a_grigorev@mail.ru

Аннотация. *Актуальность и цели.* Вибрационный сигнал несет массу информации о состоянии и внутренней структуре как источника, так и приемника этого сигнала. Это обстоятельство создает предпосылки для качественного рывка в области контроля состояния и прогнозирования катастроф как техногенного, так и природного характера. Целью данной публикации является обоснование оценки интенсивности вибрации на основе анализа изображения тестового объекта круглой формы с вибрационным размытием. *Материалы и методы.* Для измерения интенсивности вибраций применялись бесконтактные методы на основе анализа изображения тестового объекта круглой формы с вибрационным размытием. Для обработки и предметного анализа видеопотоков применялись как методы структурного анализа, так и методы математической статистики. *Результаты и выводы.* Показано, что существует подход к измерению вибраций, не имеющий верхней предельной частоты измеряемой вибрации. При реализации этого подхода оценка параметров вибрации осуществляется на основе анализа изображения круглой метки с вибрационным размытием. Сформулирован и обоснован критерий оценки общего уровня вибрации при произвольной траектории вибрационного перемещения исследуемого элемента поверхности объекта контроля. Представлена и описана эквивалентная схема замещения реального вибрационного процесса. Представлена и описана модель формирования дизъюнктивного и конъюнктивного следов вибрационного размытия изображения круглой метки. Из принципа подобия изображения его оригиналу доказано, что эквивалентная амплитуда вибрационного перемещения прямо пропорциональна относительному вибрационному приращению площади изображения круглой метки. Приведена и обоснована схема калибровки системы измерения общего уровня вибрации на основе сравнительного анализа изображений круглой метки с вибрационным размытием и без такового при произвольном пороге бинаризации.

Ключевые слова: вибрация, изображение, тестовый объект, круглая метка, калибровка, общий уровень вибрации, обработка, анализ, бинаризация

Для цитирования: Григорьев А. В. Оценка интенсивности вибрации на основе анализа изображения тестового объекта круглой формы с вибрационным размытием // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. 2022. № 3. С. 5–14. doi:10.21685/2072-3059-2022-3-1

Vibration intensity estimation based on image analysis of a round test object with vibration blur

A.V. Grigor'ev

Penza State University, Penza, Russia

a_grigorev@mail.ru

Abstract. *Background.* The vibration signal carries a lot of information about the state and internal structure of both the source and the receiver of this signal. This circumstance creates the prerequisites for a qualitative breakthrough in the field of state control and forecasting of disasters, both man-made and natural. The purpose of this study is to substantiate the assessment of the vibration intensity based on the analysis of the image of a round test object with vibration blur. *Materials and methods.* To measure the intensity of vibrations, non-contact methods were used based on the analysis of the image of a round test object with vibration blur. For processing and subject analysis of video streams, both methods of structural analysis and methods of mathematical statistics were used. *Results and conclusions.* It is shown that there is an approach to measuring vibrations that does not have an upper limiting frequency of the measured vibration. When implementing this approach, the estimation of vibration parameters is based on the analysis of the image of a round mark with vibration blur. The criterion for assessing the overall level of vibration for an arbitrary trajectory of the vibrational movement of the investigated element of the surface of the test object is formulated and justified. An equivalent equivalent circuit for a real vibrational process is presented and described. A model for the formation of disjunctive and conjunctive traces of vibrational blurring of the image of a round mark is presented and described. From the principle of similarity of the image to its original, it is proved that the equivalent amplitude of the vibrational movement is directly proportional to the relative vibrational increment of the image area of the round mark. A scheme for calibrating a system for measuring the overall vibration level is presented and justified based on a comparative analysis of images of a round mark with and without vibration blur at an arbitrary binarization threshold. Calculated calibration ratios are derived, which are illustrated by a numerical example.

Keywords: vibration, image, test object, round label, calibration, overall vibration level, processing, analysis, binarization

For citation: Grigor'ev A.V. Vibration intensity estimation based on image analysis of a round test object with vibration blur. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. Tekhnicheskie nauki = University proceedings. Volga region. Engineering sciences.* 2022;(3):5–14. (In Russ.). doi:10.21685/2072-3059-2022-3-1

Введение

Идентификация предаварийных состояний техногенных объектов и состояний, предшествующих природным катастрофам, является актуальной проблемой. Для решения этой проблемы разработано и разрабатывается множество различных подходов, в основу которых положен анализ различных параметров, так или иначе характеризующих состояние объектов. Одним из наиболее распространенных методов контроля является контроль вибрационный. Вибрационный сигнал несет очень большой объем информации

о состоянии источника или приемника вибрации. Но потенциальные возможности вибрационного контроля в настоящее время реализуются далеко не полностью.

К недостаткам современных средств измерения вибрации следует отнести то, что осуществляется дискретизация результатов измерений во времени. По теореме Котельникова временной интервал между разнесенными во времени отсчетами не может быть меньше $1/(2v_v)$, где v_v – верхняя предельная частота информационно-измерительной системы (ИИС) [1]. Верхняя предельная частота измеряемой вибрации контактных ИИС не превышает 10 кГц. Например, частота вибрации подшипников качения на ранних стадиях износа составляет около 40 кГц.

Существует подход к измерению вибраций, свободный от перечисленных недостатков. Этот подход предусматривает измерение параметров вибрации на основе анализа изображения тестового объекта круглой формы (круглой метки) с вибрационным размытием. В рамках этого подхода разработано несколько методов, решающих различные специфические задачи и дополняющие друг друга.

Особенности размытия изображения круглой метки при возвратно-поступательном вибрационном перемещении элемента поверхности описаны в статьях [2, 3]. Однако элементы поверхности реальных объектов контроля совершают вибрационное перемещение по более сложным траекториям. Для контроля таких вибрационных процессов разработаны и запатентованы методы [4–11].

Критерий оценки общего уровня вибрации при произвольной траектории вибрационного перемещения

Для решения проблемы оценки общего уровня вибрации при вибрационном перемещении по произвольной траектории предлагается заменить такое перемещение эквивалентным прямолинейным вибрационным перемещением. А в качестве критерия эквивалентности выбрать относительное вибрационное приращение площади изображения круглой метки.

На рис. 1 представлена эквивалентная схема замещения реального вибрационного процесса.

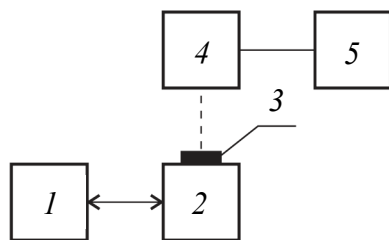


Рис. 1. Эквивалентная схема замещения реального вибрационного процесса

На схеме (рис. 1) источник прямолинейной гармонической вибрации 1 (вибростенд) вынуждает несущую панель 2 совершать возвратно-поступательное вибрационное перемещение по гармоническому закону по прямолинейной траектории. На несущей панели 2 закреплен тестовый объект круглой формы 3 (круглая метка). Изображение круглой метки 3 как при выключен-

ном вибростенде 1, так и при включенном фиксируется регистрирующим устройством 4, в качестве которого может быть применена видеокамера. Видеокамера формирует видеопотоки, которые представляют собой серии изображений одной и той же круглой метки при выключенном и при включенном вибростенде 1. Эти видеопотоки поступают в вычислительное устройство 5, где и обрабатываются.

На рис. 2 представлена модель формирования дизъюнктивного и конъюнктивного следов вибрационного размытия изображения круглой метки.

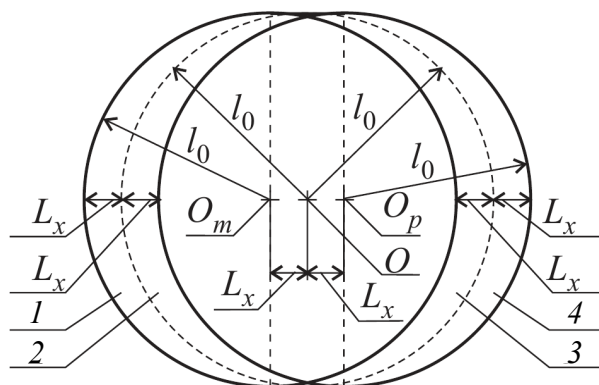


Рис. 2. Модель формирования дизъюнктивного и конъюнктивного следов вибрационного размытия изображения круглой метки

Точка O является геометрическим центром изображения круглой метки на исходной позиции при выключенном источнике вибрации. При включенном источнике прямолинейной гармонической вибрации эта точка совершает вибрационное перемещение по прямолинейному гармоническому закону между двумя предельными позициями O_m и O_p . Интервал L_x является амплитудой вибрационного перемещения изображения тестового элемента поверхности; l_0 – радиус изображения круглой метки на исходной позиции при отсутствии вибрации. Не только изображение тестового элемента поверхности, но и изображение всей круглой метки, совершает прямолинейное гармоническое вибрационное перемещение. В результате размытия формируется полутоновое изображение. Для того чтобы измерить площадь изображения метки методом подсчета пикселей, необходимо преобразовать это полутоновое изображение в бинарное. Для размытых изображений плодотворен способ бинаризации, представленный в статье [12]. Но этот способ весьма сложен в реализации, а простой метод сравнения с плоским порогом существенной дополнительной погрешности во многих случаях не вносит. На бинарном изображении применяются методы морфологической фильтрации и анализа [13]. Геометрический центр изображения круглой метки на исходной позиции при выключенном тестовом источнике вибрации (точка O на рис. 2) находится, например, способом, который изложен в [14].

В случае идеализированной модели после бинаризации с максимальным и минимальным порогами формируются бинарные изображения, представляющие собой конъюнкцию и дизъюнкцию фаз вибрационного перемещения изображения круглой метки соответственно. Это и есть конъюнктивный и дизъюнктивный следы вибрационного размытия изображения круглой

метки. Из принципа подобия изображения объекта его оригиналу следует, что

$$\frac{r_t}{l_0} = \frac{A_x}{L_x}, \quad (1)$$

где r_t и l_0 – радиусы круглой метки (в микрометрах) и ее изображения (в пикселах) соответственно; A_x и L_x – вибрационные перемещения тестового элемента поверхности (в микрометрах) и его изображения (в пикселах) соответственно.

Пиксел (*pix*) как единица измерения длины в области изображений представляет собой расстояние между центрами пикселей в строке или в столбце растровой матрицы.

Дизъюнктивный след вибрационного размытия изображения круглой метки (рис. 2) состоит из двух полуокружностей радиуса l_0 , между которыми располагается прямоугольник со сторонами $2l_0$ и $2L_x$. Отсюда, принимая во внимание соотношение (1) и проведя несложные математические преобразования, имеем

$$A_x = r_t \frac{\pi}{4} \delta_{S_{imt}}, \quad (2)$$

где $\delta_{S_{imt}}$ – относительное вибрационное приращение площади изображения круглой метки.

По определению этого параметра имеем:

$$\delta_{S_{imt}} = \frac{S_{imtx} - S_{imt0}}{S_{imt0}}, \quad (3)$$

где S_{imtx} и S_{imt0} – площади изображения круглой метки с вибрационным размытием и без такового соответственно.

Площадь изображения измеряется количеством пикселей, составляющих это изображение.

Реальное изображение содержит шумы, которые при пороге, близком к максимальному, проявляют себя в виде вкраплений уровня фона в изображение объекта, а при пороге, близком к минимальному, проявляют себя в виде вкраплений уровня объекта в изображение фона. Поэтому рабочий порог бинаризации не является ни минимальным, ни максимальным, а занимает некое промежуточное положение. При этом след вибрационного размытия изображения круглой метки также занимает промежуточное положение между предельными дизъюнктивной и конъюнктивной формами. Для рабочего следа вибрационного изображения круглой метки имеем

$$A_x = k_{\beta} r_t \frac{\pi}{4} \delta_{S_{imt}}, \quad (4)$$

где k_{β} – коэффициент бинарной коррекции.

В случае дизъюнктивного следа вибрационного размытия изображения круглой метки коэффициент бинарной коррекции k_{β} равен единице, и формула (4) превращается в формулу (2). Анализ рис. 2 показывает, что относительное вибрационное приращение $\delta_{S_{imt}}$ изображения круглой метки при его конъюнктивном следе вибрационного размытия равно по абсолютной вели-

чине, но противоположно по знаку тому же параметру при дизъюнктивном следе вибрационного размытия изображения круглой метки. Таким образом, для конъюнктивного следа вибрационного размытия изображения круглой метки коэффициент бинарной коррекции k_b равен минус единице. Из этого следует, что область допустимых значений коэффициента бинарной коррекции k_b : $[-1; 1]$.

Схема калибровки системы измерения общего уровня вибрации на основе анализа изображения круглой метки с вибрационным размытием

Общие принципы вибрационных испытаний подробно описаны в статье [15]. Цель калибровки системы измерения общего уровня вибрации на основе анализа изображения круглой метки с вибрационным размытием состоит в определении коэффициента k_b для заданного рабочего порога бинаризации.

На рис. 3 представлена схема калибровки системы измерения общего уровня вибрации на основе анализа изображения круглой метки с вибрационным размытием.

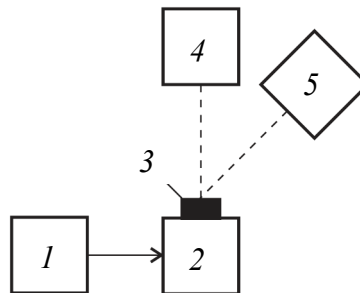


Рис. 3. Схема экспериментальных исследований

Процесс калибровки состоит в следующем (рис. 3). С помощью вибростенда 1 генерируют гармонические прямолинейные колебания на некоторой базовой частоте, например 100 Гц, которые передаются несущей панели 2. На этой панели предварительно закрепляют метку круглой формы. Колебания круглой метки 3 контролируют одновременно регистрирующим устройством 4, например видеокамерой, и образцовым виброметром 5, например лазерным. Видеокамера фиксирует видеопоток, т.е. последовательность регистрируемых изображений, а лазерный виброметр получает результаты измерений в виде значений амплитуды колебаний. Полученный видеопоток, созданный видеокамерой 4, вместе с результатами измерения амплитуды вибрации, поступает на вычислительное устройство 6, в котором экспериментальные данные обрабатываются.

Частота вибрации 100 Гц является базовой, например для лазерного виброметра *PDV-100* фирмы *Polytech*. Что же касается вибрационного размытия изображений, то оно на всех частотах вибрации осуществляется одинаково. Поэтому результаты, полученные при калибровке, могут быть распространены на все возможные частоты измеряемой вибрации.

Кроме того, полученные результаты могут быть распространены на вибрационные перемещения по любой траектории. Лазерный виброметр измеряет лишь одну проекцию траектории вибрации, в то время как ИИС формирует инвариант общей интенсивности вибрации в виде эквивалентной амплитуды вибрационного перемещения. В формировании этого инварианта участвует вся траектория вибрационного перемещения, а не одна ее проекция.

Лазерный виброметр определяет амплитуду вибрационной скорости. На основе этих данных определяется амплитуда вибрационного перемещения. Колебание вибростенда осуществляется по гармоническому закону:

$$x = A_x \sin(\omega t), \quad (5)$$

где x – мгновенное значение вибрационного перемещения, мкм; A_x – амплитуда вибрационного перемещения, мкм; ω – циклическая частота вибрационного перемещения, рад/с; t – время, с.

Мгновенная вибрационная скорость является производной мгновенного вибрационного перемещения, следовательно

$$v = A_x \omega \cos(\omega t), \quad (6)$$

где v – мгновенная вибрационная скорость.

Из формулы (6) следует, что

$$A_v = A_x \omega, \quad (7)$$

где A_v – амплитуда вибрационной скорости, или

$$A_v = 2\pi \nu A_x, \quad (8)$$

где ν – частота повторений вибрационного сигнала, генерируемого вибростендом, выраженная в [Гц] или [с⁻¹].

Если амплитуда вибрационного перемещения A_x выражена в [мкм], частота вибрации – в [Гц], то амплитуда вибрационной скорости выражается в [мкм/с]. На практике в таких процессах удобнее выражать вибрационную скорость в [мм/с]. Таким образом, расчетная формула представляется следующим образом:

$$A_v [\text{мм/с}] = \frac{\pi}{500} \nu [\text{Гц}] A_x [\text{мкм}]. \quad (9)$$

Если, например, при частоте вибрации 100 Гц требуется установить амплитуду вибрационного перемещения на уровне 63 мкм, следует настроить вибростенд таким образом, чтобы показание лазерного виброметра составило:

$$A_v = \frac{\pi}{500} 100 \cdot 63 = 39,58 \text{ мм/с}.$$

Заключение

В работе обоснована актуальность решения проблемы измерения параметров вибраций и показано, что информация, заложенная в вибрационном сигнале, используется в настоящее время далеко не полностью по причине несовершенства информационно-измерительных систем вибрационного контроля. Выведен критерий оценки интенсивности вибрации на основе анализа

изображения тестового объекта круглой формы с вибрационным размытием при произвольной траектории вибрационного перемещения. В качестве такого критерия принята амплитуда (среднеквадратическое значение, размах) эквивалентного прямолинейного вибрационного перемещения по гармоническому закону, которое обуславливает такое же относительное вибрационное приращение площади изображения круглой метки, что и реальный вибрационный процесс. Приведена эквивалентная схема замещения реального вибрационного процесса с ее описанием. Приведена, обоснована и описана модель формирования предельных дизъюнктивного и конъюнктивного следов вибрационного размытия изображения круглой метки. Исходя из принципа подобия изображения его оригиналу выведены формулы перевода относительного вибрационного приращения площади изображения круглой метки в эквивалентную амплитуду вибрационного перемещения для предельных дизъюнктивного и конъюнктивного следов вибрационного размытия изображения круглой метки. Выведена формула такого же перевода для реального рабочего порога бинаризации с коэффициентом бинарной коррекции. Приведена и обоснована методика экспериментального определения коэффициента бинарной коррекции для заданного порога бинаризации.

Список литературы

1. Козырев Г. И., Кравцов А. Н., Усиков В. Д. Расчет частоты опроса в многоканальных информационно-измерительных системах с единых энергетических и точностных позиций // Измерения. Мониторинг. Управление. Контроль. 2020. № 2. С. 14–21. doi:10.21685/2307-5538-2020-2-2
2. Нуржанов Д. Х., Григорьев А. В., Трусков В. А., Баннов В. Я., Стрельцов Н. А. Анализ размытия изображения круглой метки при возвратно-поступательном вибрационном перемещении исследуемой материальной точки // Труды Международного симпозиума Надежность и качество. 2017. Т. 2. С. 14–16.
3. Григорьев А. В., Гришко А. К., Лапшин Э. В., Наумова И. Ю., Данилова Е. А., Юрков Н. К. Вычисление выходных параметров системы измерения модуля и компонент вектора вибрационного перемещения исследуемой материальной точки объекта контроля // Труды Международного симпозиума Надежность и качество. 2016. Т. 2. С. 41–44.
4. Патент 2535237 Российская Федерация. Способ измерения вибраций / Држевецкий А. Л., Юрков Н. К., Григорьев А. В., Затылкин А. В., Кочегаров И. И., Кузнецов С. В., Држевецкий Ю. А., Деркач А. В. № 2013128327/28 ; заявл. 20.06.2013 ; опубл. 10.12.2014, Бюл. № 34.
5. Патент 2535522 Российская Федерация. Способ измерения вибраций / Држевецкий А. Л., Юрков Н. К., Григорьев А. В., Затылкин А. В., Кочегаров И. И., Кузнецов С. В., Држевецкий Ю. А., Деркач А. В. № 2013128329/28 ; заявл. 20.06.2013 ; опубл. 10.12.2014, Бюл. № 34.
6. Патент 2726270 Российская Федерация. Способ контроля технического состояния механизмов / Григорьев А. В., Кочегаров И. И., Юрков Н. К., Реута Н. С. № 2019136327 ; заявл. 12.11.2019 ; опубл. 10.07.2020, Бюл. № 19.
7. Григорьев А. В., Кочегаров И. И., Юрков Н. К., Лысенко А. В., Горячев Н. В. Восстановление геометрических параметров следа вибрационного размытия изображения круглой метки // Труды Международного симпозиума Надежность и качество. 2021. Т. 2. С. 32–35.
8. Григорьев А. В., Гришко А. К., Данилова Е. А., Бростилов С. А., Рыбаков И. М. Поиск периферийных точек главного линейного сечения следа вибрационного размытия изображения круглой метки // Труды Международного симпозиума Надежность и качество. 2021. Т. 2. С. 35–38.

9. Патент 2765336 Российская Федерация. Способ контроля технического состояния механизмов / Григорьев А. В., Кочегаров И. И., Юрков Н. К., Реута Н. С. № 2021107352 ; заявл. 19.03.2021 ; опубл. 28.01.2022, Бюл. № 4.
10. Григорьев А. В., Кочегаров И. И., Юрков Н. К., Реута Н. С., Лапшин Э. В. Способ контроля технического состояния движущихся механизмов на основе статистического анализа вибрационного размытия изображения тестового объекта круглой формы // Надежность и качество сложных систем. 2020. № 3. С. 55–63. doi:10.21685/2307-4205-2020-3-7
11. Григорьев А. В., Кочегаров И. И., Бростилов С. А., Горячев Н. В., Андреев П. Г. Анализ отсчетных сегментов следа вибрационного размытия изображения круглой метки // Труды Международного симпозиума Надежность и качество. 2016. Т. 2. С. 37–41.
12. Григорьев А. В., Волощенко А. А. Структурно-разностные профильные классы пикселей по двум направлениям // Инновации на основе информационных и коммуникационных технологий. 2012. № 1. С. 159–162.
13. Григорьев А. В., Држевецкий А. Л., Юрков Н. К. Способ обнаружения и идентификации латентных технологических дефектов печатных плат // Труды Международного симпозиума Надежность и качество. 2013. Т. 1. С. 15–19.
14. Патент 2032218 Российская Федерация. Устройство для селекции изображений объектов / Држевецкий А. Л., Контишев В. Н., Григорьев А. В., Царев А. Г. № 4891118/24 ; заявл. 17.12.1990 ; опубл. 27.03.1995, Бюл. № 24/2000.
15. Калашников В. С., Лысенко А. В., Таньков Г. В., Трусов В. А., Реута Н. С. Формирование управляющего сигнала адаптивной информационно-измерительной и управляющей системы вибрационных испытаний // Надежность и качество сложных систем. 2020. № 4 (32). С. 90–97. doi:10.21685/2307-4205-2020-4-10

References

1. Kozыrev G.I., Kravtsov A.N., Usikov V.D. Calculation of the polling frequency in multichannel information-measuring systems from unified energy and accuracy positions. *Izmereniya. Monitoring. Upravlenie. Kontrol' = Measurements. Monitoring. Management. Control*. 2020;(2):14–21. (In Russ.). doi:10.21685/2307-5538-2020-2-2
2. Nurzhanov D.Kh., Grigor'ev A.V., Trusov V.A., Bannov V.Ya., Strel'tsov N.A. Analysis of the blurring of the image of a round mark during the reciprocating selection movement of the investigated material point. *Trudy Mezhdunarodnogo simpoziuma Nadezhnost' i kachestvo = Proceedings of the International symposium "Reliability and quality"*. 2017;2:14–16. (In Russ.)
3. Grigor'ev A.V., Grishko A.K., Lapshin E.V., Naumova I.Yu., Danilova E.A., Yurkov N. K. Calculation of the output parameters of the system for measuring the module and components of the vibration displacement vector of the studied material point of the control object. *Trudy Mezhdunarodnogo simpoziuma Nadezhnost' i kachestvo = Proceedings of the international symposium Reliability and Quality*. 2016;2:41–44. (In Russ.)
4. Patent 2535237 Russian Federation. *Sposob izmereniya vibratsiy = Vibration measurement method*. Drzhevetskiy A.L., Yurkov N.K., Grigor'ev A.V., Zatytkin A.V., Kochegarov I.I., Kuznetsov S.V., Drzhevetskiy Yu.A., Derkach A.V. № 2013128327/28; appl. 20.06.2013; publ. 10.12.2014, Bull. № 34. (In Russ.)
5. Patent 2535522 Russian Federation. *Sposob izmereniya vibratsiy = Vibration measurement method*. Drzhevetskiy A.L., Yurkov N.K., Grigor'ev A.V., Zatytkin A.V., Kochegarov I.I., Kuznetsov S.V., Drzhevetskiy Yu.A., Derkach A.V. № 2013128329/28; appl. 20.06.2013; publ. 10.12.2014, Bull. № 34. (In Russ.)
6. Patent 2726270 Russian Federation. *Sposob kontrolya tekhnicheskogo sostoyaniya mekhanizmov = Method for monitoring the technical condition of mechanisms*. Grigor'ev A.V., Kochegarov I.I., Yurkov N.K., Reuta N.S. № 2019136327; appl. 12.11.2019; publ. 10.07.2020, Bull. № 19. (In Russ.)

7. Grigor'ev A.V., Kochegarov I.I., Yurkov N.K., Lysenko A.V., Goryachev N.V. Restoration of the geometric parameters of the trace of the vibrational blurring of the image of a round mark. *Trudy Mezhdunarodnogo simpoziuma Nadezhnost' i kachestvo = Proceedings of the international symposium Reliability and Quality*. 2021;2:32–35. (In Russ.)
8. Grigor'ev A.V., Grishko A.K., Danilova E.A., Brostilov S.A., Rybakov I.M. Search for peripheral points of the main linear section of the trace of the vibrational blurring of the image of a round mark. *Trudy Mezhdunarodnogo simpoziuma Nadezhnost' i kachestvo = Proceedings of the international symposium Reliability and Quality*. 2021;2:35–38. (In Russ.)
9. Patent 2765336 Russian Federation. *Sposob kontrolya tekhnicheskogo sostoyaniya mekhanizmov = Method for monitoring the technical condition of mechanisms*. Grigor'ev A.V., Kochegarov I.I., Yurkov N.K., Reuta N.S. № 2021107352; appl. 19.03.2021; publ. 28.01.2022, Bull. № 4. (In Russ.)
10. Grigor'ev A.V., Kochegarov I.I., Yurkov N.K., Reuta N.S., Lapshin E.V. Method for monitoring the technical condition of moving mechanisms based on statistical analysis of vibrational blurring of the image of a test object of a round shape. *Nadezhnost' i kachestvo slozhnykh system = Reliability and quality of complex systems*. 2020;3:55–63. (In Russ.). doi:10.21685/2307-4205-2020-3-7
11. Grigor'ev A.V., Kochegarov I.I., Brostilov S.A., Goryachev N.V., Andreev P.G. Analysis of the reference segments of the trace of the vibrational blurring of the image of a round mark. *Trudy Mezhdunarodnogo simpoziuma Nadezhnost' i kachestvo = Proceedings of the international symposium Reliability and Quality*. 2016;2:37–41. (In Russ.)
12. Grigor'ev A.V., Voloshchenko A.A. Structural-difference profile classes of pixels in two directions. *Innovatsii na osnove informatsionnykh i kom-munikatsionnykh tekhnologiy = Innovations based on information and communication technologies*. 2012;1:159–162. (In Russ.)
13. Grigor'ev A.V., Drzhhevetskiy A.L., Yurkov N.K. Method for detecting and identifying latent technological defects in printed circuit boards. *Trudy Mezhdunarodnogo simpoziuma Nadezhnost' i kachestvo = Proceedings of the international symposium Reliability and Quality*. 2013;1:15–19. (In Russ.)
14. Patent 2032218 Russian Federation. *Ustroystvo dlya selektsii izobrazheniy ob'ektov = Device for selecting images of objects*. Drzhhevetskiy A.L., Kontishev V.N., Grigor'ev A.V., Tsarev A.G. № 4891118/24; appl. 17.12.1990; publ. 27.03.1995, Bull. № 24/2000. (In Russ.)
15. Kalashnikov V.S., Lysenko A.V., Tan'kov G.V., Trusov V.A., Reuta N.S. Formation of the control signal of the adaptive information-measuring and control system of vibration tests. *Nadezhnost' i kachestvo slozhnykh system = Reliability and quality of complex systems*. 2020;(4):90–97. (In Russ.). doi:10.21685/2307-4205-2020-4-10

Информация об авторах / Information about the authors

Алексей Валерьевич Григорьев

кандидат технических наук, доцент,
доцент кафедры конструирования
и производства радиоаппаратуры,
Пензенский государственный
университет (Россия, г. Пенза,
ул. Красная, 40)

E-mail: a_grigorev@mail.ru

Aleksey V. Grigor'ev

Candidate of engineering sciences,
associate professor, associate professor
of the sub-department of design
and production of radio equipment,
Penza State University (40 Krasnaya
street, Penza, Russia)

Поступила в редакцию / Received 06.08.2022

Поступила после рецензирования и доработки / Revised 02.09.2022

Принята к публикации / Accepted 04.10.2022