

УДК 004.932.2

doi: 10.21685/2072-3059-2024-1-10

Метод вибрационной диагностики предаварийных состояний техногенных и природных объектов

А. В. Григорьев

Пензенский государственный университет, Пенза, Россия

a_grigorev@mail.ru

Аннотация. *Актуальность и цели.* Целью данной работы является развитие метода измерения вибраций на основе анализа изображений тестового фрагмента круглой формы с вибрационным размытием за счет измерения направления вибрации элемента поверхности объекта контроля. Актуальность цели обусловлена повышением информативности вибрационного контроля, что позволяет существенно снизить вероятность пропуска предаварийных состояний. *Материалы и методы.* Исследования процесса вибрационного размытия изображения тестового фрагмента объекта контроля и восстановления траектории вибрационного перемещения на основе анализа изображения тестового фрагмента с вибрационным размытием проведены методом математического моделирования. *Результаты.* Проведен предметный анализ состояния вопроса измерения параметров вибраций на основе анализа изображения тестового фрагмента круглой формы. Приведена предложенная автором структура информационно-измерительной системы вибрационной диагностики предаварийных состояний объектов. Описаны процессы формирования и обработки информационных видеопотоков, осуществляемых на выходе регистрирующего устройства информационно-измерительной системы. Дана обобщенная характеристика принципов формирования коротких геометрических параметров изображений тестового фрагмента. Приведено описание принципов восстановления параметров вибраций и идентификации предаварийных состояний объектов. Обоснованы задачи и принципы калибровочных измерений информационно-измерительной системы, выбора образцового измерительного прибора, применяемого для таких измерений. Отмечено, что предлагаемый метод позволяет измерять параметры вибраций в существенно более широком частотном диапазоне – по сравнению с образцовым виброметром и с другими известными методами виброметрии. Кроме того, предлагаемая система, в отличие от образцового виброметра и других виброизмерительных систем, способна анализировать вибрации, осуществляемые по произвольной траектории. *Выводы.* Представлен метод идентификации предаварийных состояний техногенных и природных объектов. Приведена и описана структура информационно-измерительной системы, реализующей этот метод. Обосновано расширение функциональных возможностей этой информационно-измерительной системы по сравнению с известными виброизмерительными системами.

Ключевые слова: идентификация состояния объекта, круглая метка, вибрационная диагностика, изображение, размытие, приращение

Для цитирования: Григорьев А. В. Метод вибрационной диагностики предаварийных состояний техногенных и природных объектов // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. 2024. № 1. С. 114–122. doi: 10.21685/2072-3059-2024-1-10

Method of vibration diagnostics of pre-emergency conditions in technogenic and natural objects

© Григорьев А. В., 2024. Контент доступен по лицензии Creative Commons Attribution 4.0 License / This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 License.

A.V. Grigoryev

Penza State University, Penza, Russia

a_grigorev@mail.ru

Abstract. *Background.* The purpose of the study is to develop a method for measuring vibrations based on the analysis of images of a round-shaped test fragment with vibration blur by measuring the direction of vibration of the surface element of the test object. The relevance of the purpose is due to the increase in the information content of vibration monitoring, which can significantly reduce the likelihood of missing pre-emergency conditions. *Materials and methods.* Studies of the process of vibration blurring of the image of an object's test fragment and restoration of the trajectory of vibrational movement based on analysis of the image of a test fragment with vibration blur were carried out using the method of mathematical modeling. *Results.* A substantive analysis of the state of the issue of measuring vibration parameters was carried out based on an image analysis of a round test fragment. An approximate block diagram of an information-measuring system for vibration diagnostics of pre-emergency states of objects is given. A description of the processes of formation and processing of information video streams carried out at the output of the recording device of the IIS is given. A generalized description of the principles of forming tuples of geometric parameters of images of a test fragment is given. A description of the principles for restoring vibration parameters and identifying pre-emergency states of objects is given. The tasks and principles of calibration measurements of the IMS and the choice of a standard measuring device used for such measurements are substantiated. It is noted that the proposed method makes it possible to measure vibration parameters in a significantly wider frequency range compared to a standard vibrometer and other known vibrometry methods. In addition, the proposed system, unlike the standard vibrometer and other vibration measuring systems, is capable of analyzing vibrations along an arbitrary trajectory. *Conclusions.* A method for identifying pre-emergency states of man-made and natural objects is presented. An approximate block diagram of the IMS that implements this method is presented and described. The expansion of the functionality of this IMS in comparison with known vibration measuring systems is justified.

Keywords: object state identification, round mark, vibration diagnostics, image, blur, increment

For citation: Grigoryev A.V. Method of vibration diagnostics of pre-emergency conditions in technogenic and natural objects. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. Tekhnicheskie nauki* = *University proceedings. Volga region. Engineering sciences*. 2024;(1):114–122. (In Russ.). doi: 10.21685/2072-3059-2024-1-10

Введение

Информация о текущем состоянии техногенного или природного объекта позволяет прогнозировать его отказ, техногенную аварию или природную катастрофу и своевременно принять необходимые меры. Вибрационный сигнал является наиболее информативным сигналом объекта, параметры которого открывают массу возможностей для такого прогнозирования с целью повышения надежности и безопасности контролируемых объектов.

Задача выявления скрытых развивающихся дефектов объектов контроля относится к классу задач обнаружения и имеет много общего с задачей обнаружения сигналов в радиолокации [1]. Для ее решения уместно применение современного инструментария, в том числе инструментария нейронных сетей [2].

Вибрационный сигнал несет массу информации о состоянии объекта. Современные виброизмерительные системы часто не способны воспринять

значительную часть этой информации по причине ограниченности частотного диапазона измеряемых вибраций и невозможности оценивать интенсивность вибрации по трем направлениям [3]. В настоящее время динамично развивается принципиально новый вид векторной виброметрии, в основу которой положен анализ изображений тестового фрагмента круглой формы с вибрационным размытием. Основы построения информационно-измерительной системы (ИИС) такой виброметрии представлены в статье [4]. Приращение главного линейного сечения изображения фрагмента круглой формы как функция амплитуды вибрационного перемещения описано в работе [5]. Размытие изображения тестового фрагмента в частном случае линейного смещения элемента поверхности проанализировано в работе [6]. Методика градуировки виброизмерительной системы приведена в статье [7].

Краткая характеристика информационно-энергетических преобразований в датчиковом узле ИИС

На исследуемый участок поверхности 1 объекта контроля предварительно наносят тестовый фрагмент круглой формы 2 (рис. 1). Изображение тестового фрагмента 2 фиксируется регистрирующим устройством 3, например видеокамерой. Объектив регистрирующего устройства проецирует непрерывное изображение тестового фрагмента на матрицу ячеек, в каждой из которых в течение времени экспозиции накапливается аналог лучистой энергии, переносимой элементарным потоком излучения с элемента поверхности объекта контроля.

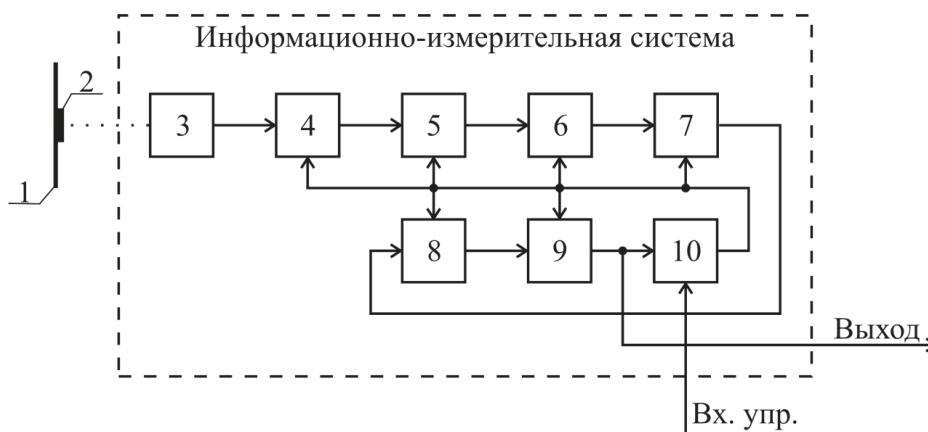


Рис. 1. Структура ИИС вибрационной диагностики предаварийных состояний объектов: 1 – исследуемый участок поверхности объекта контроля; 2 – тестовый объект круглой формы; 3 – регистрирующее устройство; 4 – буферный накопитель; 5 – контроллер изображений; 6 – контроллер приращений; 7 – блок статистической обработки числовых последовательностей; 8 – блок восстановления параметров вибрации; 9 – идентификатор состояний объекта контроля; 10 – устройство управления ИИС

Вибрационные процессы приводят к размытию четкого изображения тестового фрагмента:

$$I(x, y) = s(x, y, t) \oplus I_{lag}(x, y, z, t), \quad (1)$$

где $I(x,y)$ – непрерывное распределение интенсивности (яркости) в плоскости изображения тестового фрагмента с вибрационным размытием; $s(x,y,t)$ – траектория вибрационного перемещения исследуемого элемента поверхности объекта контроля, спроецированная на плоскость объекта регистрирующего устройства; $\oplus$ – оператор дилатации, т.е. дизъюнкции бесконечного множества мгновенных фотографий тестового фрагмента 2, разделенных бесконечно малым временным интервалом в процессе экспозиции регистрирующего устройства 3; $I_{lag}(x,y,t)$ – непрерывное распределение интенсивности (яркости) в плоскости изображения тестового фрагмента без вибрационного размытия.

Спроецированное объективом регистрирующего устройства 3 на фоточувствительную матрицу этого устройства изображение тестового фрагмента 2 подвергается двумерной пространственной дискретизации. В каждой ячейке этой матрицы в течение времени экспозиции осуществляется накопление преобразованной лучистой энергии. В результате формируется зарядовый рельеф, соответствующий изображению. Этому зарядовому рельефу соответствует рельеф потенциальный:

$$u(i,j,k) = q(i,j,k) / C(i,j,k), \quad (2)$$

где $u(i,j,k)$ – потенциал ячейки фотоприемной матрицы регистрирующего устройства 3, расположенной в строке и столбце этой матрицы с порядковыми номерами i и j соответственно, при формировании изображения, имеющего порядковый номер k в формируемой серии изображений тестового фрагмента 2. Аналого-цифровое преобразование непрерывного напряжения $u(i,j,k)$ формирует упорядоченное множество чисел, описывающее серию изображений:

$$d_u(i,j,k) = \left\lfloor \frac{u(i,j,k) - u_{\min}}{u_{\max} - u_{\min}} 2^n \right\rfloor, \quad (3)$$

где d_u – квантованная яркость пиксела; i и j – порядковые номера строки и столбца, в которых расположен пиксел, соответственно; k – порядковый номер изображения в серии; u – исходная непрерывная яркость пиксела; $u_{\min}$ и $u_{\max}$ – наименьшее и наибольшее значения напряжения при аналого-цифровом преобразовании; n – количество разрядов аналого-цифрового преобразования; $\lfloor x \rfloor$ – оператор, ставящий в соответствие действительной переменной x наибольшее неотрицательное целое число n , для которого выполняется условие $n \leq x$.

Формирование и обработка информационных видеопотоков

Регистрирующее устройство 3 (рис. 1) формирует видеопоток, состоящий из последовательно полученных K цифровых изображений. Этот видеопоток записывается в буферный накопитель 4. В этом буферном накопителе формируется два видеопотока: актуальный и опорный. Актуальный видеопоток состоит из K изображений, полученных через одинаковые временные интервалы в актуальном вибрационном режиме (например, при работающем контролируемом механизме). Опорный видеопоток состоит из такого же количества изображений, полученных через такой же временной интервал, что и актуальный видеопоток, но в другом, опорном, вибрационном режиме.

Опорный видеопоток может быть получен, например, при выключенном контролируемом механизме или при работавшем контролируемом механизме, но, например, тогда, когда этот механизм был новый.

Видеопотоки полутоновых изображений, записанные в буферный накопитель 3, поступают в блок бинаризации 4. В этом блоке осуществляется преобразование исходных полутоновых изображений в бинарные, т.е. в такие изображения, в которых каждому растровому элементу соответствует либо уровень логической единицы, либо уровень логического нуля. Преобразование полутонового изображения в бинарное осуществляется путем сравнения цифрового уровня яркости каждого растрового элемента с некоторым наперед заданным пороговым уровнем:

$$b(i, j, k) = \begin{cases} 0, & \text{если } d(i, j, k) \leq d_{\text{utl}}, \\ 1, & \text{если } d(i, j, k) > d_{\text{utl}}, \end{cases} \quad (4)$$

где b – уровень бинарного изображения (либо единица, либо ноль); d_{utl} – пороговый уровень яркости изображения.

Полученные кортежи бинарных изображений поступают в контроллер изображений 5. В этом контроллере каждое изображение подвергается анализу в соответствии с одним или несколькими способами из числа описанных в патентах [8–12].

Формирование кортежей приращений геометрических параметров изображений тестового фрагмента

На выходе контроллера изображений 5 формируются актуальные и опорные кортежи геометрических параметров, полученных в результате анализа. Эти кортежи считываются контроллером приращений 6, в котором осуществляется формирование кортежей относительных приращений элементов актуальных кортежей по элементам опорных кортежей с одинаковыми порядковыми номерами, оцененных, например, в процентах:

$$A_a = \langle a_{a1}, a_{a2}, \dots, a_{ak}, \dots, a_{aK} \rangle, \quad (5)$$

где A_a – кортеж, составленный из однородных выходных параметров изображений актуального кортежа изображений a_{ak} (таким параметром может быть, например, полудлина следа вибрационного размытия изображения тестового фрагмента);

$$A_o = \langle a_{o1}, a_{o2}, \dots, a_{ok}, \dots, a_{oK} \rangle, \quad (6)$$

где A_o – кортеж, составленный из однородных выходных параметров изображений опорного кортежа изображений a_{ok} (таким параметром может быть, например, средний радиус изображения тестового объекта при выключенном испытуемом источнике вибрационного сигнала);

$$\delta A_a = \langle \delta a_{a1}, \delta a_{a2}, \dots, \delta a_{ak}, \dots, \delta a_{aK} \rangle, \quad (7)$$

где δA_a – кортеж, составленный из приращений однородных выходных параметров изображений актуального кортежа по однородным выходным параметрам изображений опорного кортежа δa_{ak} :

$$\delta a_{ak} = \frac{a_{ak} - a_{ok}}{a_{ok}} \cdot 100 \% . \quad (8)$$

Восстановление параметров вибраций и идентификация предаварийных состояний объектов

Элементы кортежей приращений считаются контроллером статистической обработки числовых последовательностей 7. В этом контроллере вычисляется среднее значение элементов кортежа и их стандартное отклонение. Среднее значение элементов кортежа является номинальным значением, которое ставят в соответствие измеряемому параметру. Стандартное отклонение помогает определить, является ли действительное отклонение значимым или оно находится в пределах выборочной статистической изменчивости. Ответ на этот вопрос дают статистические критерии (например, критерий Стьюдента). Если установлено, что относительное приращение измеряемого параметра является значимым, т.е. обусловлено именно свойствами вибрационного процесса, то среднее значение вибрационного приращения измеряемого параметра принимается в качестве инварианта этого параметра.

Контроллер восстановления параметров 8 восстанавливает значения контролируемых параметров, полученных в результате предварительных калибровочных измерений, в которых измеряемые параметры физически моделируются с помощью вибростенда и контролируются образцовым измерительным прибором (например, лазерным). Этот образцовый измерительный прибор имеет верхнюю частотную границу, в разы меньшую, чем частота вибраций, которая встречается на практике. Например, портативный лазерный виброметр *PDV-100* измеряет мгновенное значение вибрационной скорости в диапазоне от нуля до 22 кГц. А поскольку на выходе такого прибора формируется последовательность разнесенных во времени результатов измерений, для измерения амплитуды гармонического вибрационного процесса с относительной погрешностью не более 1 % необходимо не менее 100 измерений за период этого процесса. То есть частота вибрации при калибровочных измерениях должна быть не более 220 Гц. Кроме того, образцовый измерительный прибор способен измерять амплитуду только одной проекции вибрационной траектории. Например, лазерный виброметр *PDV-100*, основанный на эффекте Доплера, измеряет проекцию вектора вибрационной скорости на его оптическую ось. ИИС, реализующая предлагаемый в настоящей статье метод, может быть откалибрована на одной частоте вибрации при направлении этой вибрации вдоль оптической оси лазерного виброметра. После такой калибровки система анализирует высокочастотные вибрационные процессы, протекающие по произвольной траектории.

С выхода контроллера восстановления параметров 8 числовые значения поступают на вход идентификатора состояний 9, в котором восстановленные значения контролируемых параметров сравниваются с граничными значениями состояний. В результате формируется вектор состояния объекта, который и поступает на выход ИИС.

Устройство управления ИИС 10 считает пороговые уровни бинаризации и значения параметров вибрации, соответствующие границам состояний объектов контроля, с внешних устройств через вход управления ИИС

(«Вх. упр.» на схеме рис. 1), хранит калибровочные константы, во время цикла инициализации ИИС записывает их в функциональные блоки системы, а во время рабочего цикла осуществляет синхронизацию работы этих блоков.

Заключение

В работе обоснована актуальность вибрационного контроля техногенных и природных объектов с целью прогнозирования отказов оборудования, техногенных аварий и природных катастроф. Проведен предметный анализ состояния вопроса в области векторного измерения параметров вибраций. Рассмотрена структура ИИС вибрационной диагностики предаварийных состояний объектов. Обоснованы последовательность преобразований измерительного сигнала в регистрирующем устройстве и формирование зарядового и потенциального рельефов регистрируемого изображения на фотоприемной матрице регистрирующего устройства. Приведены и проанализированы математические соотношения. Дано описание процессов дискретизации изображения в пространстве и квантования уровней яркости этого изображения; рассмотрены последовательности действий, в соответствии с которыми осуществляется формирование и преобразование первичных видеопотоков, формируемых регистрирующим устройством, входящим в состав ИИС, а также роли актуального и опорного видеопотоков изображений. Приведены описания: способа бинаризации изображений, примененного в рассматриваемой ИИС; алгоритма формирования кортежа приращений; методик восстановления параметров вибрации и идентификации на их основе предаварийных состояний техногенных и природных объектов; способа калибровки ИИС и выбора образцового виброметра. Обосновано расширение функциональных возможностей представленной в настоящей статье системы по отношению к образцовому лазерному виброметру, основанному на эффекте Доплера, и другим известным виброизмерительным системам.

Список литературы

1. Мельничук А. И., Горячев Н. В., Юрков Н. К. К проблеме синтеза многопозиционной радиолокационной станции обнаружения беспилотных летательных аппаратов // Надежность и качество сложных систем. 2022. № 3. С. 33–41. doi: 10.21685/2307-4205-2022-3-4
2. Кошелев Н. Д., Алхатем А., Новиков К. С., Цуприк А. Д., Юрков Н. К. Управление искусственных нейронных сетей распознавания раскадровки образов высокого разрешения // Надежность и качество сложных систем. 2022. № 2. С. 85–91. doi: 10.21685/2307-4205-2022-2-10
3. Brostilova T. Yu., Brostilov S. A., Yurkov N. K., Bannov V. Ya., Grigoriev A. V. Test station for fibre-optic pressure sensor of reflection type // Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science, Proceedings of the 13th International Conference on TCSET, 2016. 2016. P. 333–335.
4. Григорьев А. В., Лысенко А. В., Бростилов С. А., Лапшин Э. В., Михеев М. Ю. Принципы конфигурирования систем измерения вибрационного перемещения на основе анализа размытия изображения круглой метки // Надежность и качество сложных систем. 2019. № 4. С. 78–86. doi: 10.21685/2307-4205-2019-4-8
5. Григорьев А. В., Лысенко А. В., Таньков Г. В., Наумова И. Ю., Юрков Н. К. Градуировочная функция измерения аппликаты вибрационного перемещения на основе анализа размытия изображения круглой метки // Надежность и качество сложных систем. 2019. № 3. С. 70–77. doi: 10.21685/2307-4205-2019-3-8

6. Нуржанов Д. Х., Григорьев А. В., Трусов 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.
7. Григорьев А. В., Юрков Н. К., Лысенко А. В., Трусов В. А., Андреев П. Г. Калибровочные измерения виброметра размытия изображения круглой метки на ее размытом изображении // Труды Международного симпозиума Надежность и качество. 2019. Т. 1. С. 208–211.
8. 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 В. А. Оpubл. 10.12.2014, Бюл. № 34.
9. 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 В. А. Оpubл. 10.12.2014, Бюл. № 34.
10. Патент 2726270 Российская Федерация. Способ контроля технического состояния механизмов / Григорьев А. В., Кочегаров И. И., Юрков Н. К. Оpubл. 10.07.2020, Бюл. № 19.
11. Патент 2765336 Российская Федерация. Способ контроля технического состояния механизмов / Григорьев А. В., Кочегаров И. И., Юрков Н. К., Реута Н. С. Оpubл. 28.01.2022, Бюл. № 4.
12. Патент 2798740 Российская Федерация. Способ контроля технического состояния механизмов / Григорьев А. В., Кочегаров И. И., Юрков Н. К., Реута Н. С. Оpubл. 26.06.2023, Бюл. № 18.

References

1. Mel'nichuk A.I., Goryachev N.V., Yurkov N.K. On the problem of synthesizing a multi-position radar station for detecting unmanned aerial vehicles. *Nadezhnost' i kachestvo slozhnykh system = Reliability and quality of complex systems*. 2022;(3):33–41. (In Russ.). doi: 10.21685/2307-4205-2022-3-4
2. Koshelev N.D., Alkhatem A., Novikov K.S., Tsuprik A.D., Yurkov N.K. Control of artificial neural networks for recognition of high-resolution image storyboards. *Nadezhnost' i kachestvo slozhnykh system = Reliability and quality of complex systems*. 2022;(2):85–91. (In Russ.). doi: 10.21685/2307-4205-2022-2-10
3. Brostilova T.Yu., Brostilov S.A., Yurkov N.K., Bannov V.Ya., Grigoriev A.V. Test station for fibre-optic pressure sensor of reflection type. *Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science, Proceedings of the 13th International Conference on TCSET, 2016*. 2016:333–335.
4. Grigor'ev A.V., Lysenko A.V., Brostilov S.A., Lapshin E.V., Mikheev M.Yu. Principles for configuring vibration displacement measurement systems based on blur analysis of a circular mark. *Nadezhnost' i kachestvo slozhnykh system = Reliability and quality of complex systems*. 2019;(4):78–86. (In Russ.). doi: 10.21685/2307-4205-2019-4-8
5. Grigor'ev A.V., Lysenko A.V., Tan'kov G.V., Naumova I.Yu., Yurkov N.K. Calibration function for measuring vibration displacement applicates based on blur analysis of a circular mark. *Nadezhnost' i kachestvo slozhnykh sistem = Reliability and quality of complex systems*. 2019;(3):70–77. (In Russ.). doi: 10.21685/2307-4205-2019-3-8
6. Nurzhanov D.Kh., Grigor'ev A.V., Trusov V.A., Bannov V.Ya., Strel'tsov N.A. Analysis of blurring of the image of a round mark during reciprocating vibrational movement of the studied material point. *Trudy Mezhdunarodnogo simpoziuma Nadezhnost' i kachestvo = Proceedings of the International Symposium Reliability and Quality*. 2017;2:14–16. (In Russ.)
7. Grigor'ev A.V., Yurkov N.K., Lysenko A.V., Trusov V.A., Andreev P.G. Calibration measurements of a vibrometer blurring the image of a round mark on its blurred image.

- Trudy Mezhdunarodnogo simpoziuma Nadezhnost' i kachestvo = Proceedings of the International Symposium Reliability and Quality*. 2019;1:208–211. (In Russ.)
8. 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 V.A. Publ. 10.12.2014, Bull. № 34. (In Russ.)
 9. 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 V.A. Publ. 10.12.2014, Bull. № 34. (In Russ.)
 10. 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. Publ. 10.07.2020, Bull. № 19. (In Russ.)
 11. 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. Publ. 28.01.2022, Bull. № 4.
 12. Patent 2798740 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. Publ. 26.06.2023, Bull. № 18. (In Russ.)

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. Grigoryev

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)

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов / The author declares no conflicts of interests.

Поступила в редакцию / Received 29.11.2023

Поступила после рецензирования и доработки / Revised 14.01.2024

Принята к публикации / Accepted 15.02.2024