

Конъюнктивная модель инварианта состояния объекта контроля

А. В. Григорьев¹, И. И. Кочегаров², Н. К. Юрков³, Н. С. Реута⁴, Н. В. Горячев⁵

^{1,2,3,4,5}Пензенский государственный университет, Пенза, Россия

¹a_grigorev@mail.ru, ²kipra@mail.ru, ³yurkov_nk@mail.ru,

⁴saparap@mail.ru, ⁵ra4foc@yandex.ru

Аннотация. *Актуальность и цели.* На современном этапе развития техники и технологий все большее значение приобретает проблема заблаговременного получения информации о приближающейся природной или техногенной катастрофе с целью ее предотвращения или минимизации ущерба от нее. *Материалы и методы.* Приведено описание конъюнктивной модели инварианта состояния объекта контроля, с помощью которой осуществляется контроль динамики вибрационной активности объекта. Осуществляется этот контроль встроенной в систему дистанционного зондирования Земли информационно-измерительной управляющей системой (ИИУС). *Результаты.* Приведено описание конъюнктивной модели инварианта интенсивности вибрации территориально распределенного объекта, предназначенной для оценки состояния этого объекта, которую осуществляет ИИУС. Проведен предметный анализ существующих методов измерения вибрации. Обосновано, что для реализации заявленного подхода наиболее приемлемым представляется метод оценки интенсивности вибрационного процесса путем анализа вибрационного размытия изображения тестового сегмента. Обосновано, что наиболее подходящей для решения поставленной задачи является круглая форма тестового сегмента. Приведено описание путей поиска инварианта интенсивности вибрационного процесса, если этот инвариант формируется при анализе параметров изображения тестового сегмента круглой формы. Предложена эквивалентная схема замещения реального вибрационного процесса. Приведено описание процесса формирования дизъюнктивного и конъюнктивного следов вибрационного размытия изображения круглой метки. Методом математического моделирования показана прямая связь между амплитудой вибрационного перемещения изображения тестового сегмента и площадью вибрационного приращения конъюнктивного следа вибрационного размытия изображения круглой метки. Сформулирован критерий оценки интенсивности вибрации. *Выводы.* В качестве оценки интенсивности вибрации принимается величина, прямо пропорциональная такой амплитуде прямолинейного вибрационного перемещения в плоскости объекта, при которой относительное вибрационное приращение площади конъюнктивного следа вибрационного размытия изображения имеет круглую метку.

Ключевые слова: круглая метка, вибрационная диагностика, предаварийные состояния, природные и техногенные объекты, распределенные системы, инвариант, анализ, дистанционное зондирование Земли

Финансирование: исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ, номер проекта 20-38-90149.

Для цитирования: Григорьев А. В., Кочегаров И. И., Юрков Н. К., Реута Н. С., Горячев Н. В. Конъюнктивная модель инварианта состояния объекта контроля // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. 2022. № 3. С. 56–66. doi:10.21685/2072-3059-2022-3-6

Conjunctive model of the invariant control object status

A.V. Grigor'ev¹, I.I. Kochegarov², N.K. Yurkov³, N.S. Reuta⁴, N.V. Goryachev⁵

^{1,2,3,4,5}Penza State University, Penza, Russia

¹a_grigorev@mail.ru, ²kipra@mail.ru, ³yurkov_nk@mail.ru,
⁴saparap@mail.ru, ⁵ra4foc@yandex.ru

Abstract. *Background.* At the present stage of development of engineering and technology, the problem of obtaining information in advance about an approaching natural or man-made disaster in order to prevent it or minimize damage from it is becoming increasingly important. *Materials and methods.* The article provides a description of the conjunctive model of the state invariant of the control object, with the help of which the control of the dynamics of the vibrational activity of the object is carried out. This control is carried out by the information-measuring control system (IMCS) built into the Earth remote sensing system. *Results.* A description of the conjunctive model of the invariant of the vibration intensity of a geographically distributed object, designed to assess the state of this object, which is carried out by the IMCS, is given. A substantive analysis of the existing vibration measurement methods has been carried out. It has been substantiated that for the implementation of the claimed approach, the method of estimating the intensity of the vibrational process by analyzing the vibrational blurring of the image of the test segment seems to be the most appropriate. It is substantiated that the round shape of the test segment is the most suitable for solving the problem. A description is given of ways to search for the intensity invariant of the vibrational process, if this invariant is formed during the analysis of the image parameters of a round test segment. An equivalent circuit for substitution of a real vibrational process is proposed. The description of the process of formation of disjunctive and conjunctive traces of vibrational blurring of the image of a round mark is given. The method of mathematical modeling shows a direct relationship between the amplitude of the vibrational displacement of the image of the test segment and the area of the vibrational increment of the conjunctive trace of the vibrational blurring of the image of a round mark. A criterion for assessing the intensity of vibration is formulated. *Conclusions.* As an estimate of the vibration intensity, a value is taken that is directly proportional to such an amplitude of the rectilinear vibrational movement in the plane of the object, at which the relative vibrational increase in the area of the conjunctive trace of the vibrational blurring of the image of a round mark.

Keywords: round label, vibration diagnostics, pre-accident conditions, natural and man-made objects, distributed systems, invariant, analysis, remote sensing of the Earth

Acknowledgements: the research was financed by the RSF within the research project No. 20-38-90149.

For citation: Grigor'ev A.V., Kochegarov I.I., Yurkov N.K., Reuta N.S., Goryachev N.V. Conjunctive model of the invariant control object status. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. Tekhnicheskie nauki = University proceedings. Volga region. Engineering sciences.* 2022;(3):56–66. (In Russ.). doi:10.21685/2072-3059-2022-3-6

Введение

Важной составляющей решения проблемы предотвращения катастрофических событий и минимизации ущерба от них является их предупреждение, т.е. заблаговременное получение информации о приближающейся катастрофе. Катастрофам как природного, так и техногенного характера предшествует рост вибрационной активности распределенных систем [1]. Сказанное относится к извержениям вулканов, землетрясениям, обрушениям автомобильных и железнодорожных мостов и другим бедствиям. Для решения задачи прогнозирования природных и техногенных катастроф наиболее эффек-

тивными представляются методы вибрационной диагностики [2]. При этом достаточно периодически получать информацию об общем уровне вибрационной активности распределенного объекта. Установка на распределенном объекте множества механических датчиков или приборов лазерного измерения вибрации представляется трудновыполнимой задачей, эффект от решения которой весьма сомнителен. Более перспективным решением представляется встраивание в существующие системы дистанционного зондирования Земли информационно-измерительной управляющей системы (ИИУС), поддерживающей анализ вибрационного размытия оптических изображений тестовых сегментов, расположенных на контролируемых объектах. При этом оптимальной является такая форма тестового сегмента, которая инвариантна направлению вибрационного перемещения, т.е. круглая. Возможна и другая форма тестового сегмента. При этом достоверность контроля при заданной разрешающей способности регистрирующего устройства снизится. Для достижения инвариантности направлений исследуемого вибрационного процесса в случае некруглой формы тестового сегмента возможны повороты регистрирующего устройства.

Проблема поиска инварианта интенсивности вибрационного процесса, формируемого при анализе параметров изображения тестового сегмента круглой формы (круглой метки) с вибрационным размытием, прорабатывалась во многих публикациях. В описаниях изобретений к патентам [3–5] предлагается использовать параметры линейных сечений следа вибрационного размытия изображения круглой метки. Этот подход получил дальнейшее развитие в статье [6]. В основе подхода лежат восстановление геометрических параметров следа вибрационного размытия изображения круглой метки [7] и поиск периферийных точек главного линейного сечения следа вибрационного размытия изображения круглой метки [8]. Предметный анализ модификаций метода использования параметров линейных сечений следа вибрационного размытия изображения круглой метки представлен в статье [9]. К недостаткам такого подхода следует отнести то, что погрешность измерения таких сечений не может быть меньше $0,5pix$, где pix – расстояние между центрами соседних растровых элементов в строке или столбце регистрирующего устройства. Более эффективным представляется подход, при реализации которого в качестве инварианта интенсивности вибрационного процесса принимается вибрационное приращение площади изображения круглой метки [10]. Приращение площади изображения круглой метки ИИУС фиксирует при изменении его среднего радиуса на величину, намного меньшую, чем пиксел [11]. В работе [12] проведено исследование возможности применения анализа вибрационного размытия изображения круглой метки для контроля технического состояния движущихся механизмов. В статье [13] изложены основные принципы контроля технического состояния движущихся механизмов на основе динамики вибрационного размытия изображения круглой метки.

Эквивалентная схема замещения реального вибрационного процесса

Вибрационное перемещение исследуемой точки осуществляется по сложной траектории. Комплексной оценкой интенсивности вибрационного процесса при этом считается амплитуда эквивалентного вибрационного пе-

ремещения, которое является прямолинейным и вызывает такое же относительное вибрационное приращение следа вибрационного размытия изображения круглой метки, что и реальный исследуемый сложный вибрационный процесс.

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

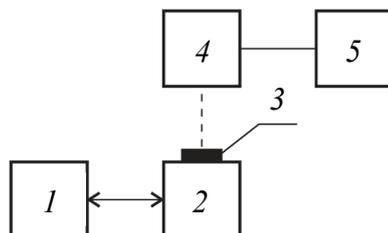


Рис. 1. Эквивалентная схема замещения реального вибрационного процесса

Эквивалентный источник вибрации *1* обеспечивает прямолинейное гармоническое вибрационное перемещение несущей конструкции *2*, на которой размещена круглая метка *3*. Эта круглая метка совершает вибрационное перемещение в плоскости объекта регистрирующего устройства *4*, которое формирует след вибрационного размытия изображения круглой метки. Далее сформированный след вибрационного размытия изображения круглой метки в виде, например, матрицы цифрового изображения поступает в вычислительное устройство *5*, где и формируется инвариант параметра вибрации, например амплитуды вибрационного перемещения.

Формирование изображения тестового сегмента основано на том, что с его поверхности исходит отраженный или излученный световой поток, который воспринимается фоточувствительной матрицей регистрирующего устройства, в результате чего в элементах этой матрицы за время экспозиции накапливаются заряды. Созданный таким образом зарядовый рельеф и есть изображение. Если тестовый сегмент совершает вибрационное перемещение, то уровень накопленного заряда в элементарной ячейке регистрирующего устройства прямо пропорционален времени, в течение которого элементарный световой поток воздействует на эту ячейку. Если порог бинаризации установлен на уровне, близком к нулю, то сформированное на фоточувствительной матрице регистрирующего устройства изображение с вибрационным размытием представляет собой дизъюнкцию фаз вибрационного перемещения. Если порог бинаризации установлен на уровне, близком к максимальному, то сформированное на фоточувствительной матрице регистрирующего устройства изображение с вибрационным размытием представляет собой конъюнкцию фаз вибрационного перемещения.

Модель формирования дизъюнктивного и конъюнктивного следов вибрационного размытия изображения круглой метки

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

На исходной позиции вибрационного перемещения мгновенная фотография круглой метки занимает положение, контур которого обозначен на

рис. 2 штриховой линией. Это круг с центром в точке O . Далее этот круг перемещается вправо до тех пор, пока не займет крайнее правое положение с центром в точке O_p . После этого круг перемещается в обратном направлении, проходит положение с центром в точке O и продолжает перемещение вправо до тех пор, пока не займет крайнее левое положение с центром в точке O_m . Далее круг меняет направление на противоположное и перемещается снова вправо. Когда круг второй раз вернется в положение с центром в точке O , закончится период вибрационного перемещения, а само перемещение будет продолжаться, многократно повторяя описанный период.

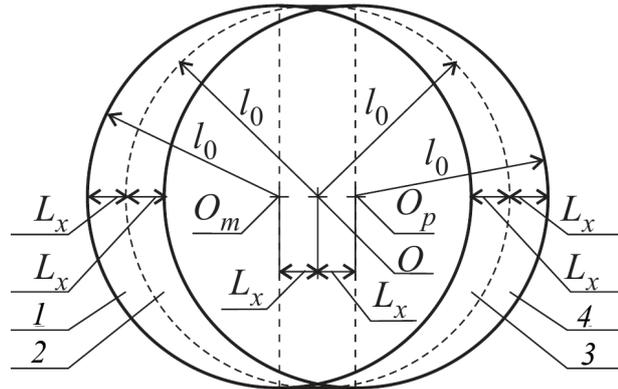


Рис. 2. Модель формирования дизъюнктивного и конъюнктивного следов вибрационного размытия изображения круглой метки

На рис. 2 сплошной основной линией обозначены два контура двух следов вибрационного размытия изображения круглой метки: дизъюнктивного и конъюнктивного. Дизъюнктивный след вибрационного размытия изображения круглой метки представляет собой объединение всех фаз вибрационного перемещения этого изображения. Конъюнктивный след вибрационного размытия изображения круглой метки представляет собой пересечение всех фаз вибрационного перемещения этого изображения.

Вибрационное приращение площади изображения круглой метки

Как видно из рис. 2, площадь дизъюнктивного следа вибрационного размытия изображения круглой метки больше площади ее четкого изображения без вибрационного размытия, ограниченной штриховой линией. Вибрационное приращение площади дизъюнктивного следа вибрационного размытия изображения круглой метки ΔS_{imtxd} представляет собой разность между площадью этого следа S_{imtxd} и площадью четкого изображения круглой метки без вибрационного размытия S_{imt0} :

$$\Delta S_{imtxd} = S_{imtxd} - S_{imt0}. \quad (1)$$

Радиус четкого изображения круглой метки без вибрационного размытия на рис. 2 обозначен l_0 . Радиус l_0 на рис. 2 имеют два полукруга: правый с центром в точке O_p и левый с центром в точке O_m . Суммарная площадь этих полукругов равна площади круга с радиусом l_0 , т.е. S_{imt0} . Из этого следует,

что, по рис. 2, приращение ΔS_{imtxd} площади дизъюнктивного следа вибрационного размытия изображения круглой метки равно площади штрихового прямоугольника, расположенного в центральной части этого следа. Стороны этого прямоугольника: $2l_0 \times 2L_x$. Таким образом:

$$\Delta S_{imtxd} = 4l_0 L_x, \quad (2)$$

где L_x – амплитуда вибрационного перемещения изображения круглой метки.

Возможна другая геометрическая интерпретация вибрационного приращения площади дизъюнктивного следа вибрационного размытия изображения круглой метки. Это приращение равно разности между дизъюнктивным следом вибрационного размытия изображения круглой метки и штриховым кругом с радиусом l_0 в центральной части этого следа по рис. 2. То есть площадь ΔS_{imtxd} равна суммарной площади сегментов 1 и 4.

Поскольку сегмент 2 получен сдвигом штрихового круга на то же самое расстояние L_x , что и сегмент 1, площади сегментов 1 и 2 равны между собой так же, как и площади сегментов 3 и 4. Из этого следует, что

$$\Delta S_{imtxc} = -\Delta S_{imtxd}, \quad (3)$$

где ΔS_{imtxc} – вибрационное приращение площади конъюнктивного следа вибрационного размытия изображения круглой метки.

То есть вибрационное приращение площади конъюнктивного следа вибрационного размытия изображения круглой метки – это величина отрицательная. Действительно, как видно из рис. 2, площадь конъюнктивного следа вибрационного размытия изображения круглой метки меньше площади ее четкого изображения без вибрационного размытия.

Из формул (2) и (3) следует, что

$$\Delta S_{imtxc} = -4l_0 L_x. \quad (4)$$

Критерий оценки интенсивности вибрации

Из подобия объекта его изображению следует, что

$$\frac{l_0}{r_t} = \frac{L_x}{A_x}, \quad (5)$$

отсюда

$$A_x = \frac{r_t L_x}{l_0}. \quad (6)$$

Из формулы (4) следует, что

$$L_x = -\frac{\Delta S_{imtxc}}{4l_0}. \quad (7)$$

Из формул (6) и (7) следует, что

$$A_x = -\frac{r_t}{l_0} \cdot \frac{\Delta S_{imtxc}}{4l_0}, \quad (8)$$

или

$$A_x = -r_t \frac{\Delta S_{imtxc}}{4l_0^2}. \quad (9)$$

А поскольку

$$S_{imt0} = \pi l_0^2, \quad (10)$$

то

$$A_x = -r_t \pi \frac{\Delta S_{imtxc}}{4S_{imt0}}. \quad (11)$$

По определению имеем

$$\Delta S_{imtxc} = S_{imtxc} - S_{imt0}. \quad (12)$$

Отсюда, принимая во внимание (11), получаем

$$A_x = -r_t \frac{\pi}{4} \cdot \frac{S_{imtxc} - S_{imt0}}{S_{imt0}}. \quad (13)$$

По определению имеем

$$\delta S_{imtxc} = \frac{S_{imtxc} - S_{imt0}}{S_{imt0}}, \quad (14)$$

где δS_{imtxc} – вибрационное приращение конъюнктивного следа вибрационного размытия изображения круглой метки.

Отсюда, принимая во внимание (13), получаем

$$A_x = -r_t \frac{\pi}{4} \delta S_{imtxc}. \quad (15)$$

Таким образом:

$$A_x \sim \delta S_{imtxc}. \quad (16)$$

То есть амплитуда вибрационного перемещения круглой метки в плоскости объекта по прямолинейной траектории прямо пропорциональна относительному вибрационному приращению конъюнктивного следа вибрационного размытия ее изображения.

Соотношение (16) позволяет использовать относительное вибрационное приращение конъюнктивного следа вибрационного размытия изображения круглой метки в качестве инварианта интенсивности вибрации не только при прямолинейном вибрационном перемещении в плоскости объекта, но и при вибрационном перемещении по произвольной траектории. В качестве оценки интенсивности вибрации принимается величина, прямо пропорциональная такой амплитуде прямолинейного вибрационного перемещения в плоскости объекта, при которой относительное вибрационное приращение площади конъюнктивного следа вибрационного размытия изображения круглой метки равно тому же параметру при мониторинге состояния объекта контроля.

Заключение

Обоснована актуальность проблемы предупреждения природных и техногенных катастроф. Показано, что таким катастрофам предшествует рост вибрационной активности территориально распределенных объектов. Показано, что наиболее перспективным решением представляется встраивание в существующие системы дистанционного зондирования Земли ИИУС, поддерживающих анализ вибрационного размытия тестовых сегментов, размещенных на поверхностях объектов контроля. Показано, что оптимальной формой тестового сегмента является круглая, хотя анализ размытия изображения тестового сегмента произвольной формы также является информативным. Проведен анализ известных инвариантов интенсивности вибраций, получаемых на основе анализа размытия изображения круглой метки. Приведено описание модели формирования дизъюнктивного и конъюнктивного следов вибрационного размытия изображения круглой метки. Проанализирована последовательность и обоснованы основные соотношения формирования вибрационного приращения площади конъюнктивного следа вибрационного размытия изображения круглой метки. Показано, что относительное вибрационное приращение площади конъюнктивного следа вибрационного размытия изображения круглой метки является инвариантом интенсивности вибрационного процесса при произвольной траектории вибрационного перемещения.

Список литературы

1. Козлов А. Ю., Сидоров А. И. Вероятностно-временная модель функционирования иерархической системы управления разнородными территориально распределенными объектами // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. 2021. № 2. С. 99–112. doi:10.21685/2072-3059-2021-2-9
2. 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. С. 90–97. doi:10.21685/2307-4205-2020-4-10
3. 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.
4. 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.
5. 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.
6. Grigor'ev A. V., Zatylnkin A. V., Yurkov N. K. Method for contactless three-component vibration measurement // Measurement Techniques. 2017. Vol. 59 (12). P. 1291–1296. doi:10.1007/s11018-017-1131-5
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. Grigoriev A. V., Danilova E. A., Yurkov N. K. Method of measurement vibration movements of material points on the surface of the controlled object // Proceedings of the 2017 XX IEEE International Conference on Soft Computing and Measurements, SCM 2017 (Saint-Petersburg, 24–26 May 2017). St Petersburg, 2017. P. 589–592.
10. 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.
11. 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
12. Grigoriev A. V., Kochtgarov I. I., Yurkov N. K., Goryachev N. V., Reuta N. S. Research on the possibility to apply vibration blurring of a round mark image in technical condition monitoring mechanisms // Procedia Computer Science : 14th International Symposium On Intelligent Systems, Intels 2020 (Moscow, 14–16 December 2020). M., 2021. P. 736–742.
13. Григорьев А. В., Кочегаров И. И., Юрков Н. К. Принципы контроля технического состояния движущихся механизмов на основе анализа динамики вибрационного размытия изображения круглой метки // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета гражданской авиации. 2020. № 2 (27). С. 119–131.

References

1. Kozlov A.Yu., Sidorov A.I. Probabilistic-temporal model of the functioning of a hierarchical control system for heterogeneous territorially distributed objects. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. Tekhnicheskie nauki = University proceedings. Volga region. Engineering sciences.* 2021;(2):99–112. (In Russ.). doi:10.21685/2072-3059-2021-2-9
2. 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
3. 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.)
4. 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.)
5. 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.)
6. Grigor'ev A.V., Zatytkin A.V., Yurkov N.K. Method for contactless three-component vibration measurement. *Measurement Techniques.* 2017;59(12):1291–1296. doi:10.1007/s11018-017-1131-5

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. Grigoriev A.V., Danilova E.A., Yurkov N.K. Method of measurement vibration movements of material points on the surface of the controlled object. *Proceedings of the 2017 XX IEEE International Conference on Soft Computing and Measurements, SCM 2017 (Saint-Petersburg, 24–26 May 2017)*. Saint Petersburg, 2017:589–592.
10. 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.)
11. 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 round shaped object. *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
12. Grigoriev A.V., Kochegarov I.I., Yurkov N.K., Goryachev N.V., Reuta N.S. Research on the possibility to apply vibration blurring of a round mark image in technical condition monitoring mechanisms. *Procedia Computer Science: 14th International Symposium On Intelligent Systems, Intels 2020 (Moscow, 14–16 December 2020)*. Moscow, 2021:736–742.
13. Grigor'ev A.V., Kochegarov I.I., Yurkov N.K. Principles of monitoring the technical condition of moving mechanisms based on the analysis of the dynamics of vibrational blurring of the image of a round mark. *Vestnik Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo universiteta grazhdanskoy aviatsii = Vestnik of Saint Petersburg State University of Civil Aviation*. 2020;(2):119–131. (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. 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)

Игорь Иванович Кочегаров

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

E-mail: kipra@mail.ru

Igor' I. Kochegarov

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)

Николай Кондратьевич Юрков

доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой конструирования
и производства радиоаппаратуры,
Пензенский государственный
университет (Россия, г. Пенза,
ул. Красная, 40)

E-mail: yurkov_nk@mail.ru

Никита Сергеевич Реута

аспирант, Пензенский государственный
университет (Россия, г. Пенза,
ул. Красная, 40)

E-mail: saparap@mail.ru

Николай Владимирович Горячев

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

E-mail: ra4foc@yandex.ru

Nikolay K. Yurkov

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

Nikita S. Reuta

Postgraduate student, Penza State
University (40 Krasnaya
street, Penza, Russia)

Nikolay V. Goryachev

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 13.05.2022

Поступила после рецензирования и доработки / Revised 23.07.2022

Принята к публикации / Accepted 02.09.2022